



Уральский
федеральный
университет

имени первого Президента
России Б.Н.Ельцина

Строительный институт

С. В. КУДРЯВЦЕВ

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАРНЫХ ДВУТАВРОВЫХ ПРОФИЛЕЙ С ВОЛНИСТЫМИ СТЕНКАМИ

Учебно-методическое пособие



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ПЕРВОГО ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ Б. Н. ЕЛЬЦИНА

С. В. Кудрявцев

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАРНЫХ ДВУТАВРОВЫХ ПРОФИЛЕЙ С ВОЛНИСТЫМИ СТЕНКАМИ

Учебно-методическое пособие

Рекомендовано методическим советом УрФУ
для студентов, обучающихся по программам бакалавриата,
магистратуры и специалитета по направлениям подготовки
08.03.01, 08.04.01 «Строительство»,
08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений»

Екатеринбург
Издательство Уральского университета
2017

УДК 621.791.01:62=423(075.8)

ББК 30.4=02я73 + 30.616я73

К88

Рецензенты:

кафедра «Строительные конструкции и строительное производство»

Уральского государственного университета путей сообщения

(заведующий кафедрой кандидат технических наук,

доцент Н. Г. Горелов);

С. П. Тамакулов, кандидат технических наук,

директор ООО «Фирма “Уралкомплект-наука”»;

А. А. Караев, председатель совета директоров

ООО «Проектстальконструкция»,

заслуженный строитель Российской Федерации;

Ю. С. Максимов, кандидат технических наук, профессор,

директор ТОО «Институт Проектстальконструкция» (г. Алматы),

почетный строитель Казахстана

Кудрявцев, С. В.

К88

Расчет и проектирование сварных двутавровых профилей с волнистыми стенками : учеб.-метод. пособие / С. В. Кудрявцев ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. — 60 с.

ISBN 978-5-7996-2056-1

В учебно-методическом пособии приведены основные положения по расчету изгибаемых, сжатых и сжато-изгибаемых элементов из стальных сварных двутавровых профилей с волнистыми стенками с гофрами треугольного очертания. Указаны требования к их конструированию. Даны примеры расчета и конструирования.

Для студентов, обучающихся по направлениям «Строительство» и «Строительство уникальных зданий и сооружений».

УДК 621.791.01:62=423(075.8)

ББК 30.4=02я73 + 30.616я73

ISBN 978-5-7996-2056-1

© Уральский федеральный университет, 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	4
Основные буквенные обозначения	5
1. Общие положения	6
2. Материалы	7
3. Конструктивные требования	8
4. Геометрические характеристики сечения	10
5. Расчет элементов с волнистой стенкой при центральном растяжении и сжатии	13
6. Расчет элементов с волнистой стенкой при изгибе	13
7. Расчет элементов с волнистой стенкой при действии продольной силы с изгибом	16
8. Устойчивость волнистых стенок профилей	18
9. Устойчивость поясных листов профилей	21
10. Расчет по второй группе предельных состояний (по прогибам)	22
11. Расчет сечений профилей, ослабленных круговыми отверстиями	23
<i>Приложение А. Примеры расчета профилей с волнистой стенкой</i>	<i>25</i>
<i>Приложение Б. Сортамент сварных двутавровых профилей с волнистой стенкой типа «Силур»</i>	<i>40</i>
Библиографические ссылки	58

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебно-методическое пособие подготовлено на кафедре «Промышленное, гражданское строительство и экспертиза недвижимости» Строительного института. Оно предназначено студентам, обучающимся по направлениям подготовки бакалавриата 08.03.01 «Строительство» и магистратуры 08.04.01 «Строительство», а также по направлению подготовки специалитета 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений» всех форм обучения, для выполнения практических занятий и курсового проекта по дисциплинам «Металлические конструкции, включая сварку», «Строительные конструкции зданий и сооружений» и «Проектирование легких металлических конструкций».

В пособии приводятся основные положения по расчету изгибаемых, сжатых и сжато-изгибаемых элементов из стальных сварных двутавровых профилей с волнистыми стенками с гофрами треугольного очертания. Указаны требования к конструированию. Даны примеры расчета. Приведенная методика расчета предназначена для практического инженерного проектирования элементов с волнистой стенкой и разработана на основе обобщения и систематизации результатов отечественных и зарубежных экспериментальных и теоретических исследований конструкций с волнистыми и гофрированными стенками [5–10].

Материал пособия имеет практико-ориентированный характер. Приобретенные студентами знания и навыки могут быть использованы при выполнении курсовых и дипломных проектов, а также в практической деятельности.

ОСНОВНЫЕ БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Усилия от внешних нагрузок в поперечном сечении элементов

M — изгибающий момент, N — продольная сила, Q — поперечная сила.

Характеристики материалов

R_u — расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию и изгибу по временному сопротивлению

R_y — расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию и изгибу по пределу текучести

$R_s = 0,58R_y$ — расчетное сопротивление стали срезу

$E = 206\,000$ МПа ($2,06 \cdot 10^6$ кг/см²) — модуль упругости прокатной стали

$G = 79\,000$ МПа ($0,79 \cdot 10^6$ кг/см²) — модуль сдвига прокатной стали

$\rho = 7850$ кг/м³ — удельный вес прокатной стали.

Характеристики поперечного сечения профиля

b_f — ширина пояса профиля

t_f — толщина пояса профиля

h_w — высота волнистой стенки профиля

t_w — толщина стенки профиля

f — высота волны стенки

a — расстояние между вершинами волн стенки (шаг гофров)

$b_w = \sqrt{a^2 + f^2}$ — ширина панели гофра

A — площадь поперечного сечения профиля

A_f — площадь поперечного сечения одного пояса профиля

I_x, I_y — моменты инерции сечения относительно осей x — x и y — y ;

W_x, W_y — моменты сопротивления сечения относительно осей x — x и y — y

S_x — статический момент полусечения профиля относительно оси x — x

i_x, i_y — радиусы инерции сечения относительно осей x — x и y — y

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Представленная в настоящем пособии методика расчета может быть применена при проектировании несущих изгибаемых, сжатых и сжато-изогнутых стальных конструкций с волнистой (гофрированной) стенкой. Как правило, к таким конструкциям относятся элементы покрытий и перекрытий, колонны и ригели поперечных рам зданий и др., работающие при температуре не выше 100 °С и не ниже минус 60 °С.

При проектировании конструкций, находящихся в особых условиях эксплуатации, например, подвергающихся сейсмическим воздействиям, интенсивным воздействиям температуры, радиации, агрессивных сред, конструкций уникальных зданий и сооружений, зданий атомных электростанций, а также специальных видов конструкций (например, предварительно напряженных, пространственных, висячих), следует соблюдать дополнительные требования, предусмотренные соответствующими нормативными документами, в которых отражены особенности работы таких конструкций.

При проектировании конструкций с волнистой стенкой необходимо соблюдать требования СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*» [2] и требования настоящего пособия.

Конструкции изготавливаются, как правило, сварными, двутаврового симметричного сечения, с волнистой стенкой с гофрами треугольного очертания и поясами из полосовой стали.

Конструкции с волнистой стенкой изготавливаются в заводских условиях на специализированной поточной линии, включающей участки раскроя и правки стального листа, участок гофрирования стенки, участки сборки и сварки конструкций.

Сортамент сварных двутавровых профилей с волнистой стенкой, выпускаемых ООО «Силур» (Екатеринбург) по ТУ 5283-010-85420077-2014 [6], приведен в прил. Б.

2. МАТЕРИАЛЫ

Прокат, применяемый для изготовления элементов несущих строительных конструкций с волнистой стенкой, должен отвечать требованиям стандартов или технических условий на его поставку.

При выборе классов и марок стали следует учитывать степень ответственности конструкций здания (сооружения), а также условия их эксплуатации в соответствии с прил. В СП 16.13330.2011 [2].

В качестве материала для изготовления волнистой стенки принимают, как правило, прокат листовой горячекатаный по ГОСТ 19903-74 из стали класса не ниже С245 по ГОСТ 27772-88 (ВСтЗпс6 по ГОСТ 380-88).

Для изготовления поясов элементов конструкций с волнистой стенкой рекомендуется прокат стальной горячекатаный широкополосный универсальный по ГОСТ 82-70 и прокат листовой горячекатаный по ГОСТ 19903-74 из стали класса не ниже С245 по ГОСТ 27772-88 (ВСтЗпс6 по ГОСТ 380-88).

Расчетные характеристики стали стенки и поясов конструкций принимают по табл. 1.

Таблица 1

Характеристики стали для изготовления профилей с волнистыми стенками

Сталь по ГОСТ 27772	Толщина проката, мм	Нормативные и расчетные сопротивления при растяжении, сжатии, изгибе и срезе листового и широкополосного универсально- го проката, МПа				
		R_{yn}	R_{un}	R_y	R_u	R_s
С245	От 2 до 20	245	370	240	360	135
	От 20 до 30	235	370	230	360	130
С255	От 2 до 20	245	370	240	360	135
	От 20 до 40	235	370	230	360	130
С345	От 2 до 20	325	470	320	460	180
	От 20 до 40	305	460	300	450	170

При изготовлении конструкций с волнистой стенкой следует применять виды и технологии сварки, обеспечивающие полный провар одностороннего поясного шва и получение сварных соединений, не допускающих образования кристаллизационных сварочных трещин.

3. КОНСТРУКТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

При расчете конструкций с волнистой стенкой рекомендуется считать, что волнистая стенка воспринимает только касательные напряжения, а изгибающий момент и продольная сила воспринимаются полностью поясами.

При проектировании допускается считать, что касательные напряжения по высоте волнистой стенки распределены равномерно.

Расчет стальных конструкций с волнистой стенкой следует выполнять с учетом назначения конструкций, условий их изготовления, транспортирования, монтажа, эксплуатации, а также свойств материалов.

При расчете конструкций с волнистой стенкой значения нагрузок и воздействий, а также предельные значения прогибов и перемещений элементов конструкций следует принимать согласно требованиям СП 20.13330.2011 [3].

За расчетную температуру в районе строительства следует принимать температуру наружного воздуха наиболее холодных суток с обеспеченностью 0,98 в соответствии с СП 131.13330.2012 [4]. Расчетная технологическая температура устанавливается заданием на разработку строительной части проекта.

При расчете конструкций и соединений следует учитывать:

- коэффициенты надежности по ответственности γ_n , принимаемые согласно требованиям № 384-ФЗ от 30.12.2009 [1];

- коэффициент надежности $\gamma_u = 1,3$ для элементов конструкций, рассчитываемых на прочность с использованием расчетных сопротивлений R_u ;

- коэффициенты условий работы элементов конструкций и соединений $\gamma_c, \gamma_{cl}, \gamma_b$, принимаемые по табл. 1, п. 7.1.2 и табл. 45 СП 16.13330.2011 [2].

Балки с волнистыми стенками следует выполнять, как правило, симметричного сечения (рис. 1). Вертикальные нагрузки могут прикладываться в любом сечении по длине профиля.

Высоту сечения балок следует назначать, исходя из конструктивных или архитектурно-планировочных соображений в пределах 1/12–1/30 пролета элемента.

Оптимальную высоту балок следует определять по формуле

$$h_{opt} = 0,9 \cdot \sqrt[3]{\frac{h_w}{t_w} \cdot W_{req}}, \quad (1)$$

где W_{req} — требуемый момент сопротивления балки.

Минимальную высоту волнистых стенок балок, изготавливаемых без строительного подъема, следует определять из условия жесткости с учетом деформаций сдвига.

При пролетах балок покрытия 18 м и более следует предусматривать строительный подъем, равный прогибу от постоянной и длительной нагрузок. При плоских кровлях строительный подъем следует предусматривать независимо от величины пролета, принимая его равным прогибу от суммарной нормативной нагрузки плюс 1/200 пролета.

Гибкость волнистой стенки $\lambda_w = h_w/t_w$ рекомендуется принимать в диапазоне 80–500.

Деформации (прогибы) элементов с волнистой стенкой следует вычислять с учетом влияния поперечных сил.

Параметры гофров следует назначать в следующих пределах:

- приведенная гибкость панели гофра $\bar{\lambda}_c = \frac{b_w}{t_w} \sqrt{\frac{R_y}{E}} \leq 2,3$;
- отношение высоты волнистой стенки к шагу гофров $\frac{h_w}{a} \leq 7,5$;
- высота волны $f \geq \frac{h_w}{35} + 30$ мм.

В целях использования существующего оборудования и технологической оснастки рекомендуется проектировать волнистые стенки с параметрами гофров $a \times f = 100 \text{ мм} \times 50 \text{ мм}$, $150 \text{ мм} \times 60 \text{ мм}$; $200 \text{ мм} \times 70 \text{ мм}$.

В профилях с волнистыми стенками следует, как правило, применять односторонние поясные швы, выполняемые полуавтоматической или автоматической сваркой, обеспечивающей полный провар сварного шва.

Сварные поясные швы балок с волнистой стенкой рассчитываются так же, как и в балках с плоскими стенками, при этом размеры и форма швов должны удовлетворять требованиям п. 14.1.7 СП 16.13330.2011 [2].

В местах приложения сосредоточенных нагрузок от вышележащих или примыкающих снизу конструкций, в узлах крепления связей, распорок и других элементов, около монтажных и опорных ребер следует применять двусторонние поясные швы, выходящие за контуры прикрепляемого элемента (узла) на длину $30k_f$ с каждой стороны. Здесь k_f — катет поясного шва, примыкающего к волнистой стенке.

При необходимости установки вертикальных ребер жесткости в балках с волнистыми стенками должны быть выполнены требования пп. 15.5.4 и 15.5.5 СП 16.13330.2011 [2].

Заводские стыки поясов и гофрированных стенок следует выполнять сварными. Допускается заводские и монтажные стыки стенок толщиной 5 мм и менее выполнять внахлест с напуском 50–60 мм и обязательной заваркой угловых швов с обеих сторон стыка.

4. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЧЕНИЯ

Геометрические параметры профиля с волнистой стенкой приведены на рис. 1 и 2.

Расчетные геометрические характеристики сечений профилей с волнистой стенкой рекомендуется определять по формулам, приведенным в табл. 2.

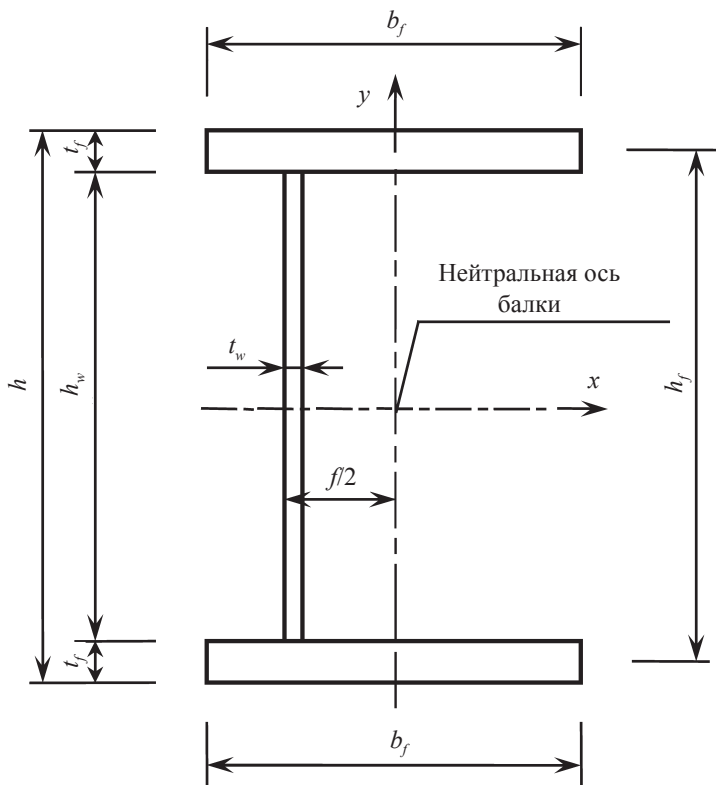


Рис. 1. Поперечное сечение профиля с волнистой стенкой с гофрами треугольного очертания

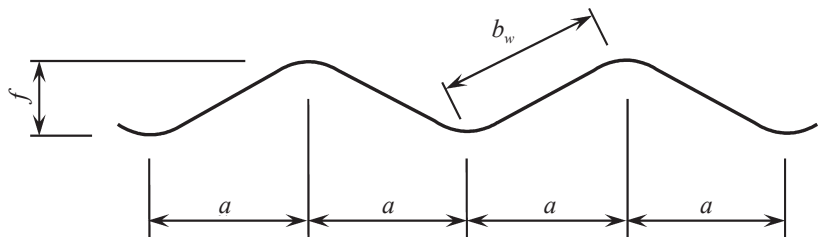


Рис. 2. Геометрические параметры волнистой стенки с гофрами треугольного очертания

Таблица 2

Расчетные формулы для вычисления геометрических характеристик сечения

Геометрическая характеристика	Обозначение	Расчетная формула
Расчетная площадь поперечного сечения	A	$2 \cdot b_f \cdot t_f$
Площадь поперечного сечения одного пояса профиля	A_f	$b_f \cdot t_f$
Момент инерции сечения относительно оси $x-x$	I_x	$0,5 \cdot b_f \cdot t_f \cdot (h_w + t_f)^2$
Момент инерции сечения относительно оси $y-y$	I_y	$\frac{t_f \cdot b_f^3}{6}$
Момент сопротивления сечения относительно оси $x-x$	W_x	$b_f \cdot t_f \cdot (h_w + t_f)$
Момент сопротивления сечения относительно оси $y-y$	W_y	$\frac{t_f \cdot b_f^2}{3}$
Статический момент полусечения относительно оси $x-x$	S_x	$0,5 \cdot b_f \cdot t_f \cdot (h_w + t_f) + 0,125 \cdot t_w \cdot h_w^2$
Радиус инерции сечения относительно оси $x-x$	i_x	$0,5 \cdot (h_w + t_f)$
Радиус инерции сечения относительно оси $y-y$	i_y	$0,289 \cdot b_f$
Теоретическая масса одного погонного метра профиля	m	$\left(2 \cdot t_f \cdot b_f + t_w \cdot h_w \cdot \frac{\sqrt{a^2 + f^2}}{a} \right) \cdot \rho$

5. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ С ВОЛНИСТОЙ СТЕНКОЙ ПРИ ЦЕНТРАЛЬНОМ РАСТЯЖЕНИИ И СЖАТИИ

Расчет на прочность элементов с волнистой стенкой при центральном растяжении или сжатии силой N следует выполнять по формуле

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq R_y \cdot \gamma_c, \quad (2)$$

где A_n — площадь сечения нетто двух поясов; γ_c — коэффициент условий работы конструкции, определяемый по табл. 1 СП 16.13330.2011 [2].

Расчет на устойчивость элементов с волнистой стенкой при центральном сжатии силой N следует выполнять по формуле

$$\sigma = \frac{N}{\varphi \cdot A} \leq R_y \cdot \gamma_c, \quad (3)$$

где A — расчетная площадь поперечного сечения; φ — коэффициент устойчивости при центральном сжатии, определяемый по прил. Д СП 16.13330.2011 [2].

Расчет на прочность волнистой стенки сжатых стержней выполняется по формуле

$$\tau_{xy} = \frac{Q_{fic}}{0,9 \cdot h_w \cdot t_w} \leq R_s \cdot \gamma_c, \quad (4)$$

где Q_{fic} — условная поперечная сила, принимаемая постоянной по всей длине стержня и определяемая по формуле

$$Q_{fic} = 7,15 \cdot 10^{-6} \cdot \left(2330 - \frac{E}{R_y} \right) \cdot \frac{N}{\varphi}. \quad (5)$$

6. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ С ВОЛНИСТОЙ СТЕНКОЙ ПРИ ИЗГИБЕ

Для обеспечения прочности балок с волнистой стенкой при изгибе должны выполняться следующие условия:

— при действии в сечении изгибающего момента

$$\sigma_x = \frac{M}{W_x} \leq R_y \cdot \gamma_c; \quad (6)$$

— при действии в сечении поперечной силы

$$\tau_{xy} = \frac{Q}{0,9 \cdot h_w \cdot t_w} \leq R_s \cdot \gamma_c. \quad (7)$$

Балку с волнистой стенкой в местах приложения сосредоточенной нагрузки к верхнему поясу, а также в опорных сечениях балки, не укрепленных ребрами жесткости, следует проверять на действие местных напряжений из условия

$$\sigma_{loc} = \frac{F}{t_w \cdot l_{ef}} \leq R_y \cdot \gamma_c, \quad (8)$$

где l_{ef} — условная длина распределения нагрузки, определяемая в зависимости от условий опирания, для случая опирания, изображенного на рис. 3.

$$l_{ef} = b + 2 \cdot t_f, \quad (9)$$

где t_f — толщина верхнего пояса балки.

При одновременном действии в сечении стенки балки местных нормальных напряжений и поперечной силы должно выполняться условие

$$\frac{0,87}{R_y \cdot \gamma_c} \cdot \sqrt{\sigma_{loc}^2 + 3\tau_{xy}^2} \leq 1, \quad (10)$$

где σ_{loc} — местные нормальные напряжения в стенке балки, определяемые по формуле (8); τ_{xy} — касательные напряжения в стенке балки, определяемые по формуле (7) в том же сечении балки, что и σ_{loc} .

Для балок с волнистой стенкой, изгибаемых в плоскости стенки и удовлетворяющих требованиям (6) и (7), расчет на общую устойчивость профиля следует выполнять по формуле

$$\sigma_f = \frac{M}{W_x \cdot \phi_f} \leq R_y \cdot \gamma_c, \quad (11)$$

где ϕ_f — коэффициент, определяемый по табл. Д.1 СП 16.13330.2011 [2] для гибкости $\lambda_f = \frac{l_0}{i_y}$; l_0 — расстояние между узлами закрепления

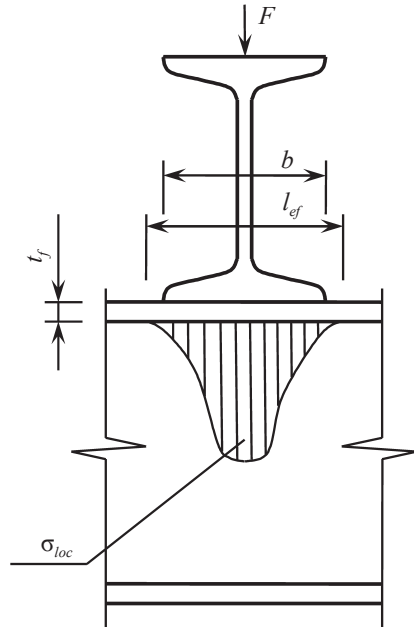


Рис. 3. Распределение местных нормальных напряжений по высоте волнистой стенки балки

сжатого пояса от поперечных смещений в горизонтальной плоскости (между точками крепления жесткого настила, между узлами продольных и поперечных связей и др.); $i_y = \frac{1}{\sqrt{12}} b_f \approx 0,289 b_f$ — радиус инерции сжатого пояса балки в горизонтальной плоскости.

Общую устойчивость балок с волнистой стенкой не требуется проверять в следующих случаях:

— при передаче нагрузки через сплошной жесткий настил, непрерывно опирающийся на сжатый пояс балки и надежно с ним связанный (сборные и монолитные железобетонные плиты, плоский и профилированный металлический настил и т. п.);

— при значениях условной гибкости сжатого пояса балки $\bar{\lambda}_b = \frac{l_0}{b} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}}$, не превышающих ее предельных значений $\bar{\lambda}_{ub}$,

определяемых по формулам табл. 11 СП 16.13330.2011 [2] для балок симметричного двутаврового сечения и с более развитым сжатым поясом, если ширина растянутого пояса составляет не менее 0,75 ширины сжатого пояса.

Закрепление сжатого пояса в горизонтальной плоскости должно быть рассчитано на фактическую или условную поперечную силу в соответствии с п. 8.4.5 СП 16.13330.2011 [2].

7. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ С ВОЛНИСТОЙ СТЕНКОЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ ПРОДОЛЬНОЙ СИЛЫ С ИЗГИБОМ

Расчет на прочность элементов двутаврового сечения с волнистыми стенками при действии в сечении продольной силы и изгибающего момента следует производить по формуле

$$\frac{N}{A_n} \pm \frac{M_x}{I_x} \cdot y \pm \frac{M_y}{I_y} \cdot x \leq R_y \cdot \gamma_c, \quad (12)$$

где x и y — координаты рассматриваемой точки сечения относительно его главных осей.

Расчет на устойчивость внецентренно-сжатых и сжато-изогнутых элементов следует выполнять как в плоскости действия момента (плоская форма потери устойчивости), так и из плоскости действия момента (изгибно-крутильная форма потери устойчивости).

Расчет на устойчивость внецентренно-сжатых и сжато-изогнутых элементов в плоскости действия момента, совпадающей с плоскостью симметрии, следует выполнять по формуле

$$\sigma_x = \frac{N}{A \cdot \varphi_e} \leq R_y \cdot \gamma_c, \quad (13)$$

где φ_e — коэффициент, определяемый по табл. Д.4 СП 16.13330.2011 [2] в зависимости от условной приведенной гибкости $\bar{\lambda}_{ef}$ и относительного эксцентриситета m , определяемого по формуле

$$m = e \cdot \frac{A \cdot a}{I}, \quad (14)$$

где a — расстояние от главной оси сечения, перпендикулярной плоскости изгиба, до оси наиболее сжатого пояса.

Расчет на устойчивость внецентренно-сжатых и сжато-изогнутых стержней не требуется при $m > 20$, в этом случае расчет следует выполнять как для изгибаемых элементов.

Расчет на устойчивость внецентренно-сжатых элементов с волнистой стенкой из плоскости действия момента при изгибе их в плоскости наибольшей жесткости ($I_x > I_y$), совпадающей с плоскостью симметрии, следует выполнять для каждого пояса отдельно как для центрально сжатого стержня по формуле (3). При этом дополнительная продольная сила от момента определяется по формуле

$$N_f = \frac{M}{h_f}, \quad (15)$$

где M — изгибающий момент, принимаемый по п. 9.2.3 СП 16.13330.2011 [2].

Расчет на устойчивость стержней двутаврового сечения с волнистой стенкой, подверженных сжатию и изгибу в двух плоскостях, при совпадении плоскостей наибольшей жесткости ($I_x > I_y$) с плоскостью симметрии следует выполнять:

— для стержня в целом — в плоскости наибольшей жесткости (в плоскости стенки) согласно требованиям п. 5.27 СП 16.13330.2011 [2], принимая $e_y = 0$;

— для поясов двутавра — как внецентренно-сжатых элементов по формуле (109) СП 16.13330.2011 [2]. При этом продольную силу в каждом поясе следует определять с учетом усилия от момента M_x , а момент M_y распределять между поясами двутавра пропорционально их жесткостям (если момент M_y действует в плоскости одного пояса, то следует считать его полностью передающимся на этот пояс). Гибкость пояса в его плоскости следует определять согласно требованиям п. 6.13 СП 16.13330.2011 [2].

Расчет волнистых стенок внецентренно-сжатых стержней двутаврового сечения следует выполнять на поперечную силу, равную большому из двух значений (фактической поперечной силы Q или условной поперечной силы Q_{fic}), вычисляемую согласно требованиям (5) данного пособия.

8. УСТОЙЧИВОСТЬ ВОЛНИСТЫХ СТЕНОК ПРОФИЛЕЙ

Гофрирование стенки профиля поперечными по отношению к продольной оси балки волнистыми гофрами повышает устойчивость стенки и снижает металлоемкость конструкции.

Отсеки волнистой стенки, заключенные между поясами и соседними вершинами гофров, следует рассчитывать на местную устойчивость.

Отсеки волнистой стенки, заключенные между поясами и соседними поперечными основными ребрами жесткости (промежуточными или концевыми), следует рассчитывать на общую устойчивость.

Расчет на устойчивость волнистых стенок следует выполнять с учетом следующих компонентов напряженного состояния:

$$\tau_{xy} = \frac{Q_{\max}}{0,9 \cdot h_w \cdot t_w}, \quad (16)$$

где τ_{xy} — касательные напряжения в стенке балки; Q_{\max} — максимальная поперечная сила в сечении балки;

$$\sigma_{loc} = \frac{F}{l_{ef} \cdot t_w}, \quad (17)$$

где σ_{loc} — местные нормальные напряжения в стенке балки под сосредоточенной нагрузкой, приложенной к сжатому или растянутому поясу; F — расчетное значение приложенной нагрузки (силы); l_{ef} — условная длина распределения нагрузки, определяемая в зависимости от условий опирания в соответствии с (9).

Расчет на местную устойчивость панели гофра стенки балки симметричного сечения при отсутствии местных напряжений ($\sigma_{loc} = 0$) следует выполнять по формуле

$$\frac{\tau_{xy}}{\tau_{p, cr}} \leq \gamma_c, \quad (18)$$

где $\tau_{p, cr}$ — критические касательные напряжения местной потери устойчивости панели гофра.

Критические касательные напряжения в случае местной потери устойчивости панели гофра волнистой стенки балки рекомендуется определять по формуле

$$\tau_{p,cr} = \frac{1,12 \cdot C_{p,cr} \cdot R_s}{\bar{\lambda}_c^2}, \quad (19)$$

где $\bar{\lambda}_c = \frac{b_w}{t_w} \sqrt{\frac{R_y}{E}}$ — приведенная гибкость панели гофра; $C_{p,cr}$ — коэффициент, принимаемый по табл. 3 в зависимости от отношения высоты стенки и ширины панели гофра $\beta = \frac{h_w}{b_w}$.

Таблица 3

Коэффициенты местной устойчивости панели гофра $C_{p,cr}$

$\beta = \frac{h_w}{b_w}$	1	2	3	5	∞
$C_{p,cr}$	9,34	6,47	6,04	5,71	5,34

Расчет на общую устойчивость волнистой стенки балки симметричного сечения при отсутствии местных напряжений ($\sigma_{loc} = 0$) следует выполнять по формуле

$$\frac{\tau_{xy}}{\tau_{o,cr}} \leq \gamma_c, \quad (20)$$

где $\tau_{o,cr}$ — критические касательные напряжения общей потери устойчивости волнистой стенки.

Критические касательные напряжения в случае общей потери устойчивости волнистой стенки балки рекомендуется определять по формуле

$$\tau_{o,cr} = \frac{1,12 \cdot C_{o,cr} \cdot R_s}{\bar{\lambda}_w^2}, \quad (21)$$

где $\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{t_w} \sqrt{\frac{R_y}{E}}$ — приведенная гибкость волнистой стенки;

$C_{o,cr} = 5,34 + (5,5 \cdot \beta^2 - 0,6) \cdot \sqrt[3]{\frac{0,25 \cdot \gamma}{7 \cdot \beta^2 - 5}}$; $\gamma = 0,91 \cdot \left(\frac{f}{t_w}\right)^2$ — отношение

погонной жесткости волнистой стенки к цилиндрической жесткости плоской стенки той же толщины.

При $\gamma > 4 \cdot (7 \cdot \beta^2 - 5)$ значение коэффициента $C_{o, cr}$ не зависит от параметра γ и проверку устойчивости волнистой стенки следует выполнять только по формуле (18).

Расчет на местную устойчивость панели гофра стенки балки симметричного сечения при наличии местных напряжений ($\sigma_{loc} \neq 0$) следует выполнять по формуле

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc, cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{xy}}{\tau_{p, cr}}\right)^2} \leq \gamma_c, \quad (22)$$

где $\sigma_{loc, cr}$ — критические местные нормальные напряжения при действии сосредоточенной нагрузки.

Критические местные нормальные напряжения в волнистой стенке балки рекомендуется определять по формуле

$$\sigma_{loc, cr} = \frac{0,8 \cdot C_1 \cdot R_y}{\bar{\lambda}_c^2}, \quad (23)$$

где C_1 — коэффициент, принимаемый по табл. 4.

Таблица 4

Коэффициенты местной устойчивости панели гофра C_1

$\delta = 0,8 \cdot \frac{b_f}{h_w} \cdot \left(\frac{t_f}{t_w}\right)^3$	b_w/h_w				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
1	7,73	8,50	9,34	10,30	11,30
2	7,67	8,50	9,50	10,60	11,80
4	7,57	8,50	9,53	10,70	12,00
≥ 6	7,69	8,67	9,77	11,02	12,40

Расчет на общую устойчивость волнистой стенки балки симметричного сечения при наличии местных напряжений ($\sigma_{loc} \neq 0$) следует выполнять по формуле

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{y, cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{xy}}{\tau_{o, cr}}\right)^2} \leq \gamma_c, \quad (24)$$

где $\sigma_{y, cr}$ — критические нормальные напряжения общей потери устойчивости волнистой стенки.

Критические нормальные напряжения общей потери устойчивости волнистой стенки следует определять как для условной стойки по формуле

$$\sigma_{y, cr} = \varphi \cdot R_y \leq \sigma_{loc, cr} \quad (25)$$

где φ — коэффициент устойчивости, определяемый по табл. Д.1 СП 16.13330.2011 [2] при гибкости условной стойки $\lambda = 2,5 \cdot \frac{h_w}{f}$.

В случаях когда $\sigma_{y, cr} > \sigma_{loc, cr}$, при проверке общей устойчивости волнистой стенки по формуле (24) следует принимать $\sigma_{y, cr} = \sigma_{loc, cr}$.

При проверке устойчивости волнистой стенки по формулам (22) и (24) должны соблюдаться следующие условия:

$$\frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc, cr}} \leq 0,75 \cdot \gamma_c; \quad (26)$$

$$e \leq 0,25 \cdot f, \quad (27)$$

где e — эксцентриситет, с которым передается сосредоточенная нагрузка от вышележащего элемента, относительно продольной оси балки.

Волнистые стенки балок следует укреплять поперечными ребрами жесткости, если в местах приложения больших неподвижных сосредоточенных грузов не обеспечивается их устойчивость при проверке по формулам (22) и (24). Ширину и толщину поперечных ребер жесткости следует назначать в соответствии с п. 7.3.3 СП 16.13330.2011 [2].

9. УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЯСНЫХ ЛИСТОВ ПРОФИЛЕЙ

Расчетную ширину свеса пояса двутавровых профилей с волнистой стенкой следует определять по формуле

$$b_{ef} = 0,5 \cdot (b_f + 0,7 \cdot f). \quad (28)$$

Устойчивость поясных листов центрально-сжатых и сжато-изогнутых профилей с волнистой стенкой следует считать обеспеченной, если условная гибкость свеса пояса $\bar{\lambda}_f$ не превышает значений предельной условной гибкости $\bar{\lambda}_{uf}$, т. е. выполняется условие

$$\bar{\lambda}_f = \frac{b_{ef}}{t_f} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} \leq \bar{\lambda}_{uf}. \quad (29)$$

Значение предельной условной гибкости изгибаемого профиля принимается равным $\bar{\lambda}_{uf} = 0,5$, а в случае центрально и внецентренно сжатого профиля определяется по формуле

$$\bar{\lambda}_{uf} = 0,36 + 0,1 \cdot \bar{\lambda}, \quad (30)$$

где $\bar{\lambda} = \lambda_{\max} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}}$ — приведенная гибкость стержня.

При значениях $\bar{\lambda} < 0,8$ или $\bar{\lambda} > 4$ для определения предельной условной гибкости по формуле (30) следует принимать соответственно $\bar{\lambda} = 0,8$ и $\bar{\lambda} = 4$.

10. РАСЧЕТ ПО ВТОРОЙ ГРУППЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ (ПО ПРОГИБАМ)

Прогиб балки с волнистой стенкой рекомендуется определять с учетом действия поперечных сил (деформаций сдвига).

Для балки, загруженной равномерно распределенной нагрузкой, относительный вертикальный прогиб можно проверить из выражения

$$\frac{f}{L} = \left(\frac{5}{48} \cdot \frac{M_n \cdot L}{E \cdot I_x} + \frac{1}{G \cdot A_w} \cdot \frac{Q_n}{4} \right) \leq \left[\frac{f}{L} \right], \quad (31)$$

где $\left[\frac{f}{L} \right]$ — предельно допустимый вертикальный прогиб балки, определяемый по табл. Е.1 СП 20.13330.2011 [3]; M_n и Q_n — нормативные значения изгибающего момента и поперечной силы.

11. РАСЧЕТ СЕЧЕНИЙ ПРОФИЛЕЙ, ОСЛАБЛЕННЫХ КРУГОВЫМИ ОТВЕРСТИЯМИ

В волнистых стенках разрезных балок, нагруженных равномерно-распределенной нагрузкой, допускается в пределах средней трети пролета, а также в сечениях, где $\tau \leq 0,5R_s$, устраивать круглые отверстия диаметром не более половины высоты стенки. Центры таких отверстий следует располагать посередине высоты стенки, а сами отверстия должны быть окаймлены листовой или угловой сталью и подкреплены парными вертикальными ребрами жесткости (рис. 4).

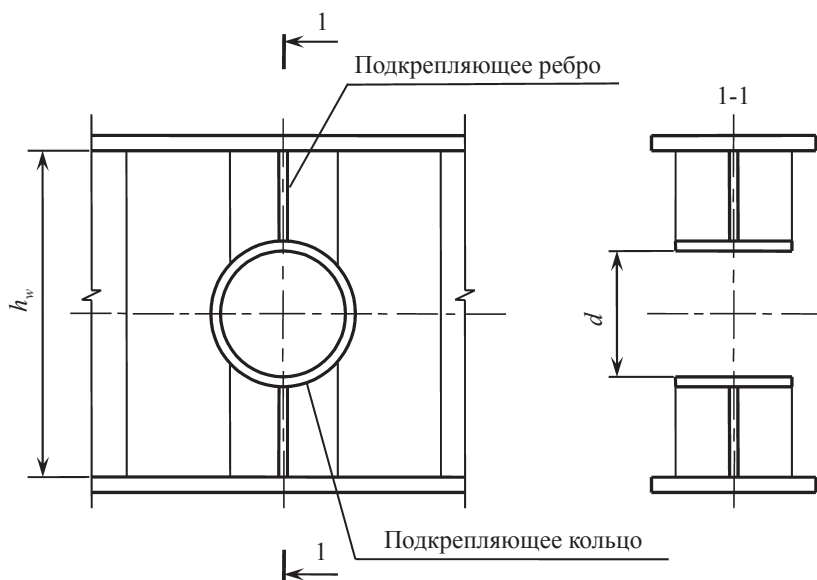


Рис. 4. Схема подкрепления отверстия в волнистой стенке

Сечение подкрепляющих ребер жесткости следует назначать в соответствии с условиями

$$b_r \geq \frac{h_w}{30} + 40 \text{ мм}, \quad (32)$$

$$t_r \geq 2 \cdot b_r \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}}, \quad (33)$$

где b_r и t_r — ширина и толщина подкрепляющего ребра жесткости.

Критические касательные напряжения потери общей устойчивости волнистой стенки $\tau_{o, cr}$ при ослаблении круговым отверстием рекомендуется определять по формуле (21) с введением в числитель коэффициентов условий работы:

— $\gamma_{wc} = 0,5$ при диаметре отверстия $d \leq 0,25 \cdot h_w$;

— $\gamma_{wc} = 0,3$ при диаметре отверстия $0,25 \cdot h_w < d < 0,5 \cdot h_w$.

Критические касательные напряжения потери местной устойчивости панели гофра волнистой стенки $\tau_{p, cr}$ при ослаблении круговым отверстием диаметром $d \leq b_w$ рекомендуется определять по формуле (19) с введением в числитель коэффициента условий работы

$$\gamma_{wc} = 1 - 1,85 \cdot \left(\frac{d}{b_w} \right) + 0,95 \cdot \left(\frac{d}{b_w} \right)^2. \quad (34)$$

Деформации (прогиб) однопролетной балки с волнистой стенкой, ослабленной отверстием диаметром $0,25h_w \leq d \leq 0,5 h_w$, следует вычислять в соответствии с (31) с введением повышающего коэффициента $k = 1,1$.

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ПРОФИЛЕЙ С ВОЛНИСТОЙ СТЕНКОЙ

Пример 1. Расчет изгибаемого элемента с волнистой стенкой

Необходимо подобрать и проверить сечение однопролетной шарнирно опертой балки покрытия с волнистой стенкой (рис. А.1, А.2). Пролет балки $L = 12$ м, шаг балок 6 м, шаг прогонов покрытия 1,5 м. Прогоны покрытия — из горячекатаных швеллеров № 18. Нормативное и расчетное значения собственного веса кровли с учетом прогонов и связей составляет соответственно $1,6 \text{ кН/м}^2$ (160 кг/м^2) и 2 кН/м^2 (200 кг/м^2). Расчетное значение снеговой нагрузки на кровле $1,8 \text{ кН/м}^2$ (180 кг/м^2). Материал конструкции — сталь С245.

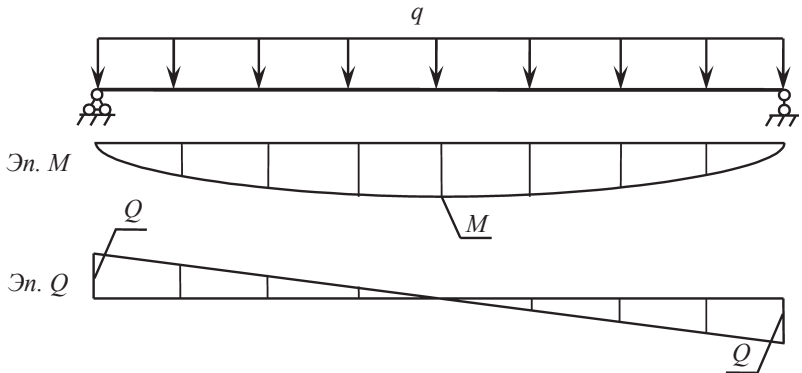


Рис. А.1. Расчетная схема балки с волнистой стенкой

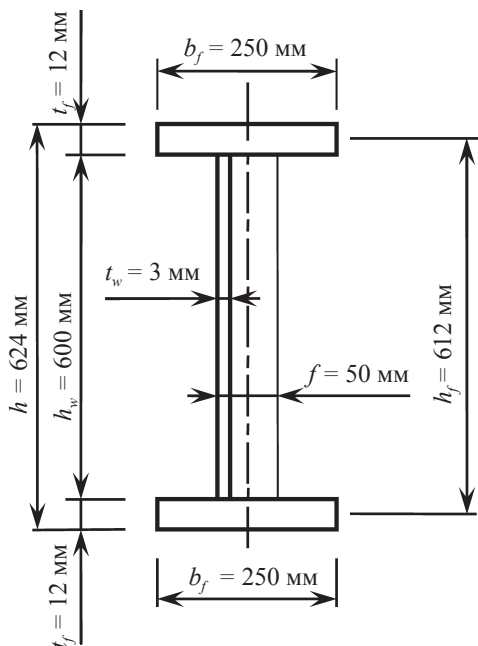


Рис. А.2. Поперечное сечение балки с волнистой стенкой

Решение. Определим максимальные усилия в балке покрытия от постоянной и снеговой нагрузки:

$$q_n = \left(160 \text{ кг/м}^2 + \frac{180 \text{ кг/м}^2}{1,4} \right) \cdot 6 \text{ м} = 1730 \text{ кг/м} \quad \text{— нормативная}$$

погонная нагрузка на балку покрытия;

$q = (200 \text{ кг/м}^2 + 180 \text{ кг/м}^2) \cdot 6 \text{ м} = 2280 \text{ кг/м}$ — расчетная погонная нагрузка на балку покрытия.

Максимальный изгибающий момент и поперечная сила от нормативных нагрузок

$$M_n = \frac{q_n \cdot L^2}{8} = \frac{1730 \text{ кг/м} \cdot (12 \text{ м})^2}{8} = 31,14 \text{ тм};$$

$$Q_n = \frac{q_n \cdot L}{2} = \frac{1730 \text{ кг/м} \cdot 12 \text{ м}}{2} = 10,38 \text{ т.}$$

Максимальный изгибающий момент и поперечная сила от расчетных нагрузок

$$M = \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{2280 \text{ кг/м} \cdot (12 \text{ м})^2}{8} = 41,04 \text{ тм};$$

$$Q = \frac{q \cdot L}{2} = \frac{2280 \text{ кг/м} \cdot 12 \text{ м}}{2} = 13,68 \text{ т}.$$

Из условия прочности изгибаемого элемента с волнистой стенкой (6) можно выразить требуемый момент сопротивления сечения балки по формуле

$$W_{req} \geq \frac{M}{R_y \cdot \gamma_c} = \frac{41,04 \text{ тм}}{2400 \text{ кг/см}^2 \cdot 1,0} = 1710 \text{ см}^3.$$

Для предварительной компоновки сечения принимаем высоту стенки h_w в пределах от $\frac{1}{12}$ до $\frac{1}{30}$ пролета балки.

Принимаем предварительно h_w от 400 до 1000 мм.

Толщину стенки t_w подбираем из условия прочности волнистой стенки на срез по касательным напряжениям по выражению (7):

$$t_w \geq \frac{Q}{0,9 \cdot h_w \cdot R_s \cdot \gamma_c} = \frac{13,68 \text{ т}}{0,9 \cdot 40 \text{ см} \cdot 1390 \text{ кг/см}^2 \cdot 1,0} = 2,73 \text{ мм}.$$

Назначаем толщину стенки $t_w = 3 \text{ мм}$.

Определим оптимальную высоту балки по формуле (1):

$$h_{opt} = 0,9 \cdot \sqrt[3]{\frac{h_w}{t_w} \cdot W_{req}} = 0,9 \cdot \sqrt[3]{\frac{400 \text{ мм}}{3 \text{ мм}} \cdot 1710 \text{ см}^3} = 55 \text{ см}.$$

Определим минимальную высоту балки с волнистой стенкой, удовлетворяющую условию жесткости:

$$\begin{aligned} h_{min} &= \frac{5}{24} \cdot \frac{M_n}{M} \cdot \frac{L \cdot R_y \cdot \gamma_c}{E \cdot \left[\frac{f}{L} \right]} + \frac{1}{4} \cdot \frac{Q_n}{G \cdot t_w \cdot \left[\frac{f}{L} \right]} = \\ &= \frac{5}{24} \cdot \frac{31,14 \text{ тм}}{41,04 \text{ тм}} \cdot \frac{12 \text{ м} \cdot 2400 \text{ кг/см}^2 \cdot 1,0}{2,1 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2 \cdot \frac{1}{250}} + \\ &+ \frac{1}{4} \cdot \frac{10,38 \text{ тм}}{7,8 \cdot 10^5 \text{ кг/см}^2 \cdot 3 \text{ мм} \cdot \frac{1}{250}} = 57 \text{ см}. \end{aligned}$$

Принимаем высоту стенки $h_w = 600$ мм.

Геометрические параметры гофров (шаг гофров a и высоту гофров f) подбираем в зависимости от высоты стенки в соответствии с конструктивными требованиями:

$$a \geq \frac{h_w}{7,5} = \frac{600 \text{ мм}}{7,5} = 80 \text{ мм};$$

$$f \geq \frac{h_w}{35} + 30 \text{ мм} = \frac{600 \text{ мм}}{35} + 30 \text{ мм} = 47,15 \text{ мм}.$$

Согласовывая параметры гофров с возможностями существующего оборудования и технологической оснастки окончательно принимаем $a = 100$ мм, $f = 50$ мм.

Проверим приведенную гибкость панели гофра:

$$\bar{\lambda}_c = \frac{\sqrt{100 \text{ мм}^2 + 50 \text{ мм}^2}}{3 \text{ мм}} \cdot \sqrt{\frac{240 \text{ МПа}}{206\,000 \text{ МПа}}} = 1,26 < 2,3.$$

Принимаем сечение волнистой стенки с размерами $h_w = 600$ мм, $t_w = 3$ мм, $a = 100$ мм, $f = 50$ мм.

Минимально необходимая ширина поперечного сечения пояса балки может быть предварительно определена из выражения

$$b_{f, \min} \geq \frac{W_{req}}{t_f \cdot (h_w + t_f)}.$$

Максимально возможная ширина поперечного сечения пояса может быть найдена из условия местной устойчивости пояса (29):

$$b_{f, \max} \leq t_f \cdot \sqrt{\frac{E}{R_y}} - 0,7 \cdot f.$$

Для определения поперечного сечения пояса балки в первом приближении зададимся толщиной пояса $t_f = 12$ мм.

$$\text{Тогда } b_{f, \min} \geq \frac{1710 \text{ см}^3}{1,2 \text{ см} \cdot (60 \text{ см} + 1,2 \text{ см})} = 23,28 \text{ см};$$

$$b_{f, \max} \leq 1,2 \text{ см} \cdot \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2}{2400 \text{ кг/см}^2}} - 0,7 \cdot 5 \text{ см} = 32,0 \text{ см}.$$

Принимаем сечение поясов балки с размерами $b_f = 250$ мм, $t_f = 12$ мм.

Проверка прочности выбранного сечения балки

Прочность балки по нормальным напряжениям из выражения (6):

$$\sigma_x = \frac{41,04 \text{ тм}}{25 \text{ см} \cdot 1,2 \text{ см} \cdot (60 \text{ см} + 1,2 \text{ см})} = 2235 \text{ кг/см}^2 < 2400 \text{ кг/см}^2.$$

Прочность балки по касательным напряжениям из выражения (7):

$$\tau_{xy} = \frac{13,68 \text{ т}}{0,9 \cdot 60 \text{ см} \cdot 0,3 \text{ см}} = 845 \text{ кг/см}^2 < 1390 \text{ кг/см}^2.$$

Проверим прочность балки по местным нормальным напряжениям в местах опирания прогонов по формуле (8):

$$\sigma_{loc} = \frac{3,42 \text{ т}}{0,3 \text{ см} \cdot 9,4 \text{ см}} = 1220 \text{ кг/см}^2 < 2400 \text{ кг/см}^2,$$

где $F = (200 \text{ кг/м}^2 + 180 \text{ кг/м}^2) \cdot 1,5 \text{ м} \cdot 6 \text{ м} = 3,42 \text{ т}$ — расчетное значение нагрузки (приложенной силы); l_{loc} — условная длина распределения нагрузки, определяемая в зависимости от условий опирания.

$$l_{loc} = 70 \text{ мм} + 2 \cdot 12 \text{ мм} = 94 \text{ мм}.$$

Прочность балки с волнистой стенкой обеспечивается.

Проверка устойчивости выбранного сечения балки

Проверка общей устойчивости балки по формуле (11):

$$i_f = 0,289 \cdot 25 \text{ см} = 7,225 \text{ см}; \lambda_f = \frac{150 \text{ см}}{7,225 \text{ см}} = 21; \varphi_f = 0,958;$$

$$\sigma_f = \frac{41,04 \text{ тм}}{25 \text{ см} \cdot 1,2 \text{ см} \cdot (60 \text{ см} + 1,2 \text{ см}) \cdot 0,958} = 2340 \text{ кг/см}^2 < 2400 \text{ кг/см}^2.$$

Общая устойчивость балки обеспечивается.

Проверка местной устойчивости сжатого пояса по формуле (29):

$$b_{ef} = 0,5 \cdot (b_f + 0,7 \cdot f) = 0,5 \cdot (25 \text{ см} + 0,7 \cdot 5 \text{ см}) = 14,25 \text{ см},$$

$$\bar{\lambda}_f = \frac{14,25 \text{ см}}{1,2 \text{ см}} \cdot \sqrt{\frac{2400 \text{ кг/см}^2}{2,1 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2}} = 0,401 < \bar{\lambda}_{uf} = 0,5.$$

Местная устойчивость сжатого пояса балки обеспечивается.

Критические касательные напряжения местной потери устойчивости гофра по формуле (19):

$$\text{при } \beta = \frac{h_w}{b_w} = \frac{600 \text{ мм}}{112 \text{ мм}} = 5,36 \text{ по табл. 3 } C_{p, cr} = 5,34;$$

$$\tau_{p, cr} = \frac{1,12 \cdot 5,34 \cdot 1390 \text{ кг/см}^2}{1,26^2} = 5230 \text{ кг/см}^2.$$

Критические нормальные напряжения местной потери устойчивости гофра по формуле (23):

$$\text{при } \frac{b_w}{h_w} = \frac{112 \text{ мм}}{600 \text{ мм}} = 0,187 \text{ и } \delta = 0,8 \cdot \frac{25 \text{ см}}{60 \text{ см}} \cdot \left(\frac{1,2 \text{ см}}{0,3 \text{ см}} \right)^3 = 21,33$$

по табл. 4 $C_1 = 7,69$.

$$\sigma_{loc, cr} = \frac{0,8 \cdot 7,69 \cdot 2400 \text{ кг/см}^2}{1,26^2} = 9300 \text{ кг/см}^2.$$

Критические касательные напряжения общей потери устойчивости волнистой стенки по формуле (21):

$$\gamma = 0,91 \cdot \left(\frac{50 \text{ мм}}{3 \text{ мм}} \right)^2 = 253 < 4 \cdot (7 \cdot 5,36^2 - 5) = 784;$$

$$C_{o, cr} = 5,34 + (5,5 \cdot 5,36^2 - 0,6) \cdot \sqrt[3]{\frac{0,25 \cdot 253}{7 \cdot 5,36^2 - 5}} = 113,3;$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{60 \text{ см}}{0,3 \text{ см}} \sqrt{\frac{2400 \text{ кг/см}^2}{2,1 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2}} = 6,76;$$

$$\tau_{o, cr} = \frac{1,12 \cdot 113,3 \cdot 1390 \text{ кг/см}^2}{6,76^2} = 3860 \text{ кг/см}^2.$$

Критические нормальные напряжения общей потери устойчивости волнистой стенки по формуле (25):

при $\lambda = 2,5 \cdot \frac{60 \text{ см}}{5 \text{ см}} = 30$ по табл. Д.1 [2] $\varphi = 0,931$.

$$\sigma_{y, cr} = 0,931 \cdot 2400 \text{ кг/см}^2 = 2230 \text{ кг/см}^2.$$

Оценим местную устойчивость панели гофра при действии местных нормальных напряжений из выражения (22):

$$\sqrt{\left(\frac{1220 \text{ кг/см}^2}{9300 \text{ кг/см}^2}\right)^2 + \left(\frac{845 \text{ кг/см}^2}{5230 \text{ кг/см}^2}\right)^2} = 0,208 < 1,0.$$

Местная устойчивость панели гофра обеспечивается.

Оценим общую устойчивость волнистой стенки при действии местных нормальных напряжений из выражения (24):

$$\sqrt{\left(\frac{1220 \text{ кг/см}^2}{2230 \text{ кг/см}^2}\right)^2 + \left(\frac{845 \text{ кг/см}^2}{3860 \text{ кг/см}^2}\right)^2} = 0,589 < 1,0.$$

Общая устойчивость волнистой стенки обеспечивается.

Проверка сечения по второй группе предельных состояний

Относительный вертикальный прогиб балки проверяем из выражения (31):

$$I_x = 0,5 \cdot 25 \text{ см} \cdot 1,2 \text{ см} \cdot (60 \text{ см} + 1,2 \text{ см})^2 = 56\,180 \text{ см}^4.$$

$$\begin{aligned} \frac{f}{L} &= \left(\frac{5}{48} \cdot \frac{31,14 \text{ тм} \cdot 12 \text{ м}}{2,1 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2 \cdot 56\,180 \text{ см}^4} + \frac{10,38 \text{ т}}{4 \cdot 7,8 \cdot 10^5 \text{ кг/см}^2 \cdot 60 \text{ см} \cdot 0,3 \text{ см}} \right) = \\ &= \frac{1}{287} < \left[\frac{f}{L} \right] = \frac{1}{250}, \end{aligned}$$

где $\left[\frac{f}{L} \right] = \frac{1}{250}$ — предельно допустимый вертикальный прогиб балки, определяемый по табл. Е.1 СП 20.13330.2011 [3].

Прогиб балки находится в нормируемых пределах.

Пример 2. Расчет центрально-сжатого элемента с волнистой стенкой

Необходимо подобрать и проверить сечение центрально-сжатой стойки двутаврового сечения с волнистой стенкой (рис. А.3, А.4).

Высота стойки $L = 6$ м. Расчетное значение сжимающей силы $N = 50$ т. Материал конструкции — сталь С245.

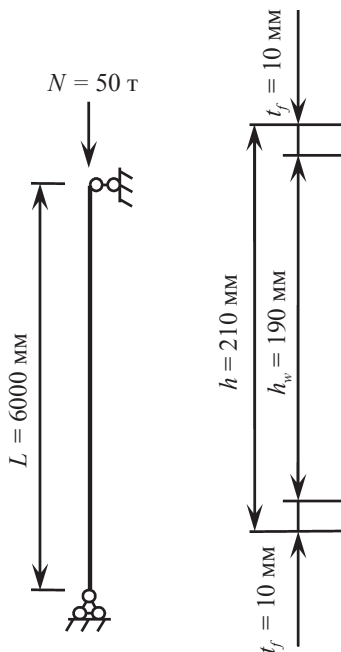


Рис. А.3. Расчетная схема стойки

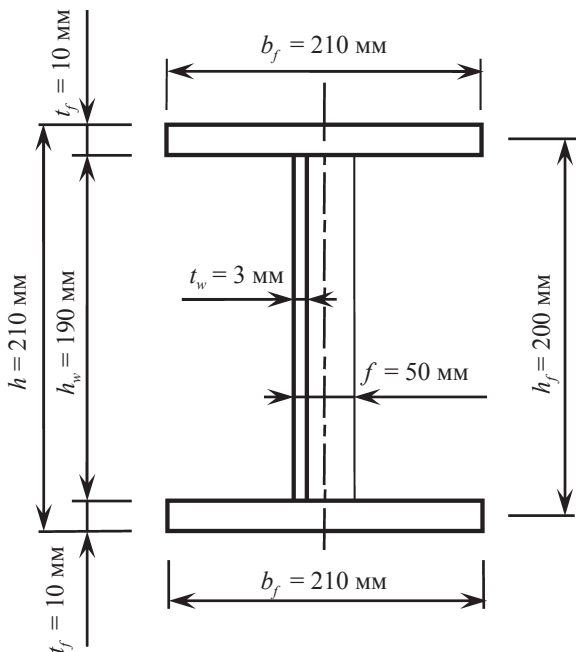


Рис. А.4. Поперечное сечение стойки

Решение. Из условия прочности центрально-сжатого элемента с волнистой стенкой (3) в первом приближении, принимая $\varphi = 0,5\text{--}0,8$, можно выразить требуемую площадь поперечного сечения стойки по формуле

$$A_{req} \geq \frac{N}{\varphi \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{50 \text{ т}}{0,5 \cdot 2400 \text{ кг/см}^2 \cdot 1,0} = 41,66 \text{ см}^2.$$

Тогда, приняв в первом приближении $t_f = 10$ мм,

$$b_f \geq \frac{A_{req}}{2 \cdot t_f} = \frac{41,66 \text{ см}^2}{2 \cdot 1,0 \text{ см}} = 20,83 \text{ см}.$$

Принимаем сечение поясов стойки с размерами

$$b_f = 210 \text{ мм}, t_f = 10 \text{ мм}.$$

Из конструктивных соображений принимаем

$$h_w = b_f - 2 \cdot t_f = 210 \text{ мм} - 2 \cdot 10 \text{ мм} = 190 \text{ мм}.$$

Толщину стенки t_w подбираем из условия прочности волнистой стенки на срез по касательным напряжениям из выражения (4):

$$Q_{fic} = 7,15 \cdot 10^{-6} \cdot \left(2330 - \frac{2,1 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2}{2400 \text{ кг/см}^2} \right) \cdot \frac{50 \text{ т}}{0,5} = 1,05 \text{ т};$$

$$t_w \geq \frac{Q_{fic}}{0,9 \cdot h_w \cdot R_s \cdot \gamma_c} = \frac{1,05 \text{ т}}{0,9 \cdot 40 \text{ см} \cdot 1390 \text{ кг/см}^2 \cdot 1,0} = 0,45 \text{ мм}.$$

Назначаем толщину стенки $t_w = 3$ мм.

Геометрические параметры гофров (шаг гофров a и высоту гофра f) подбираем в зависимости от высоты стенки в соответствии с конструктивными требованиями:

$$a \geq \frac{h_w}{7,5} = \frac{190 \text{ мм}}{7,5} = 25,3 \text{ мм};$$

$$f \geq \frac{h_w}{35} + 30 \text{ мм} = \frac{190 \text{ мм}}{35} + 30 \text{ мм} = 35,5 \text{ мм}.$$

Согласовывая параметры гофров с возможностями существующего оборудования и технологической оснастки, окончательно принимаем $a = 100$ мм, $f = 50$ мм.

Проверим приведенную гибкость панели гофра:

$$\bar{\lambda}_c = \frac{\sqrt{100 \text{ мм}^2 + 50 \text{ мм}^2}}{3 \text{ мм}} \cdot \sqrt{\frac{240 \text{ МПа}}{206\,000 \text{ МПа}}} = 1,26 < 2,3.$$

Принимаем сечение волнистой стенки с размерами $h_w = 190$ мм, $t_w = 3$ мм, $a = 100$ мм, $f = 50$ мм.

Проверка устойчивости выбранного сечения стойки

Проверка устойчивости стойки в плоскости наибольшей жесткости по формуле (3):

$$i_f = 0,5 \cdot (19 \text{ см} + 1 \text{ см}) = 10 \text{ см}; \lambda_x = \frac{600 \text{ см}}{10 \text{ см}} = 60; \varphi_f = 0,805;$$

$$\sigma_x = \frac{50 \text{ т}}{2 \cdot 21 \text{ см} \cdot 1,0 \text{ см} \cdot 0,805} = 1480 \text{ кг/см}^2 < 2400 \text{ кг/см}^2.$$

Устойчивость стойки в плоскости наибольшей жесткости обеспечивается.

Проверка устойчивости стойки в плоскости, перпендикулярной плоскости наибольшей жесткости, по формуле (3):

$$i_y = 0,289 \cdot 21 \text{ см} = 6,069 \text{ см}; \lambda_y = \frac{600 \text{ см}}{6,069 \text{ см}} = 99; \varphi_y = 0,549;$$

$$\sigma_y = \frac{50 \text{ т}}{2 \cdot 21 \text{ см} \cdot 1,0 \text{ см} \cdot 0,549} = 2170 \text{ кг/см}^2 < 2400 \text{ кг/см}^2.$$

Устойчивость стойки в плоскости, перпендикулярной плоскости наибольшей жесткости, обеспечивается.

Проверка местной устойчивости сжатого пояса по формуле (29):

$$b_{ef} = 0,5 \cdot (b_f + 0,7 \cdot f) = 0,5 \cdot (21 \text{ см} + 0,7 \cdot 5 \text{ см}) = 12,25 \text{ см},$$

$$\bar{\lambda}_{uf} = 0,36 + 0,1 \cdot 99 \cdot \sqrt{\frac{2400 \text{ кг/см}^2}{2,1 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2}} = 0,695;$$

$$\bar{\lambda}_f = \frac{12,25 \text{ см}}{1,0 \text{ см}} \cdot \sqrt{\frac{2400 \text{ кг/см}^2}{2,1 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2}} = 0,414 < \bar{\lambda}_{uf} = 0,695.$$

Местная устойчивость сжатого пояса стойки обеспечивается.

Критические касательные напряжения местной потери устойчивости гофра по формуле (19):

$$\text{при } \beta = \frac{h_w}{b_w} = \frac{190 \text{ мм}}{112 \text{ мм}} = 1,7 \text{ по табл. 3 } C_{p,cr} = 7,33;$$

$$\tau_{p, cr} = \frac{1,12 \cdot 7,33 \cdot 1390 \text{ кг/см}^2}{1,26^2} = 7190 \text{ кг/см}^2.$$

Критические касательные напряжения общей потери устойчивости волнистой стенки по формуле (21):

$$\gamma = 0,91 \cdot \left(\frac{50 \text{ мм}}{3 \text{ мм}} \right)^2 = 253 > 4 \cdot (7 \cdot 1,7^2 - 5) = 60.$$

Таким образом, проверку устойчивости волнистой стенки нужно выполнять только по формуле (18):

$$\tau_{xy} = \frac{1,05 \text{ т}}{0,9 \cdot 0,3 \text{ см} \cdot 19 \text{ см}} = 205 \text{ кг/см}^2 < 1390 \text{ кг/см}^2;$$

$$\frac{\tau_{xy}}{\tau_{p, cr}} = \frac{205 \text{ кг/см}^2}{7190 \text{ кг/см}^2} = 0,03 < 1,0.$$

Устойчивость волнистой стенки обеспечивается.

Пример 3. Расчет внецентренно-сжатого элемента с волнистой стенкой

Необходимо подобрать и проверить сечение внецентренно-сжатой стойки двутаврового сечения с волнистой стенкой (рис. А.5, А.6). Высота стойки $L = 9$ м. Расчетное значение сжимающей силы $N = 60$ т, изгибающего момента $M = 10$ тм, поперечной силы $Q = 10$ т. Материал конструкции — сталь С245.

Р е ш е н и е. Для предварительной компоновки сечения принимаем высоту стенки h_w в пределах от $\frac{1}{12}$ до $\frac{1}{30}$ высоты стойки L . Принимаем предварительно h_w от 300 до 750 мм.

Из условия прочности внецентренно-сжатого элемента с волнистой стенкой (13) в первом приближении, принимая $\varphi_e = 0,5\text{--}0,8$, можно выразить требуемую площадь поперечного сечения поясов стойки по формуле

$$A_f \geq \frac{N}{2 \cdot \varphi \cdot R_y \cdot \gamma_c} + \frac{M}{h_w \cdot R_y \cdot \gamma_c} =$$

$$= \frac{60 \text{ Т}}{2 \cdot 0,5 \cdot 2400 \text{ кг/см}^2 \cdot 1,0} + \frac{10 \text{ Тм}}{40 \text{ см} \cdot 2400 \text{ кг/см}^2 \cdot 1,0} = 35,42 \text{ см}^2.$$

Тогда, приняв предварительно $t_f = 12 \text{ мм}$, $b_f \geq \frac{A_f}{t_f} = 29,52 \text{ см}$.

Принимаем сечение поясов стойки с размерами

$$b_f = 350 \text{ мм}, t_f = 12 \text{ мм}.$$

Толщину стенки t_w подбираем из условия прочности волнистой стенки на срез по касательным напряжениям из выражения (4):

$$t_w \geq \frac{Q}{0,9 \cdot h_w \cdot R_s \cdot \gamma_c} = \frac{10 \text{ Т}}{0,9 \cdot 40 \text{ см} \cdot 1390 \text{ кг/см}^2 \cdot 1,0} = 2,0 \text{ мм}.$$

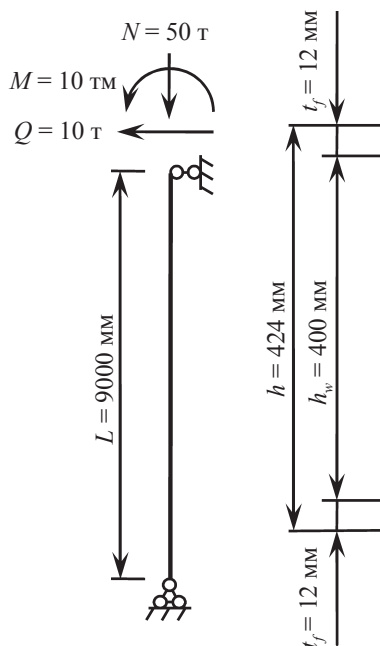


Рис. А.5. Расчетная
схема стойки

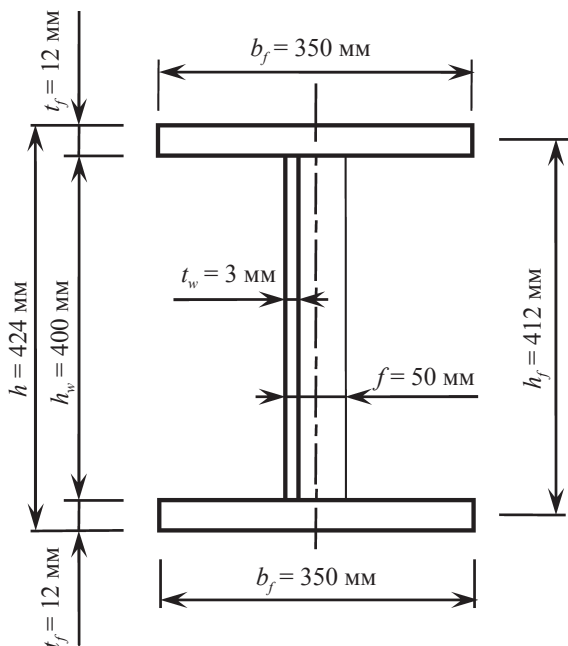


Рис. А.6. Поперечное сечение стойки

Назначаем толщину стенки $t_w = 3$ мм.

Геометрические параметры гофров (шаг гофров a и высоту гофров f) подбираем в зависимости от высоты стенки в соответствии с конструктивными требованиями:

$$a \geq \frac{h_w}{7,5} = \frac{400 \text{ мм}}{7,5} = 53,3 \text{ мм}; \quad f \geq \frac{h_w}{35} + 30 \text{ мм} = \frac{400 \text{ мм}}{35} + 30 \text{ мм} = 41,43 \text{ мм}.$$

Согласовывая параметры гофров с возможностями существующего оборудования и технологической оснастки, окончательно принимаем $a = 100$ мм, $f = 50$ мм.

Проверим приведенную гибкость панели гофра:

$$\bar{\lambda}_c = \frac{\sqrt{100 \text{ мм}^2 + 50 \text{ мм}^2}}{3 \text{ мм}} \cdot \sqrt{\frac{240 \text{ МПа}}{206\,000 \text{ МПа}}} = 1,26 < 2,3.$$

Принимаем сечение волнистой стенки с размерами $h_w = 400$ мм, $t_w = 3$ мм, $a = 100$ мм, $f = 50$ мм.

Проверка устойчивости выбранного сечения стойки

Проверка устойчивости стойки в плоскости наибольшей жесткости по формуле (13):

$$A = 2 \cdot 1,2 \text{ см} \cdot 35 \text{ см} = 84 \text{ см}^2;$$

$$I_x = 0,5 \cdot 1,2 \text{ см} \cdot 35 \text{ см} \cdot (40 \text{ см} + 1,2 \text{ см})^2 = 35\,645 \text{ см}^4;$$

$$i_x = 0,5 \cdot (40 \text{ см} + 1,2 \text{ см}) = 20,6 \text{ см};$$

$$\bar{\lambda}_{ef} = \frac{900 \text{ см}}{20,6 \text{ см}} \cdot \sqrt{\frac{2400 \text{ кг/см}^2}{2,1 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2}} = 1,48;$$

$$m = \frac{M}{N} \cdot \frac{A}{I_x} \cdot \frac{h_f}{2} = \frac{10 \text{ тм}}{60 \text{ т}} \cdot \frac{84 \text{ см}^2}{35\,645 \text{ см}^4} \cdot \frac{41,2 \text{ см}}{2} = 0,809; \quad \varphi_e = 0,503;$$

$$\sigma_x = \frac{60 \text{ т}}{84 \text{ см}^2 \cdot 0,503} = 1420 \text{ кг/см}^2 < 2400 \text{ кг/см}^2.$$

Устойчивость стойки в плоскости наибольшей жесткости обеспечивается.

Проверка устойчивости стойки в плоскости, перпендикулярной плоскости наибольшей жесткости, по формуле (11):

$$i_y = 0,289 \cdot 35 \text{ см} = 10,115 \text{ см}; \quad \lambda_y = \frac{900 \text{ см}}{10,115 \text{ см}} = 89; \quad \varphi_y = 0,619;$$

$$N_f = \frac{N}{2} + \frac{M}{h_f} = \frac{60 \text{ т}}{2} + \frac{10 \text{ тм}}{40 \text{ см} + 1,2 \text{ см}} = 54,27 \text{ т};$$

$$\sigma_y = \frac{54,27 \text{ т}}{35 \text{ см} \cdot 1,2 \text{ см} \cdot 0,619} = 2090 \text{ кг/см}^2 < 2400 \text{ кг/см}^2.$$

Устойчивость стойки в плоскости, перпендикулярной плоскости наибольшей жесткости, обеспечивается.

Проверка местной устойчивости сжатого пояса по формуле (29):

$$b_{ef} = 0,5 \cdot (b_f + 0,7 \cdot f) = 0,5 \cdot (35 \text{ см} + 0,7 \cdot 5 \text{ см}) = 19,25 \text{ см},$$

$$\bar{\lambda}_{uf} = 0,36 + 0,1 \cdot 89 \cdot \sqrt{\frac{2400 \text{ кг/см}^2}{2,1 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2}} = 0,660,$$

$$\bar{\lambda}_f = \frac{19,25 \text{ см}}{1,2 \text{ см}} \cdot \sqrt{\frac{2400 \text{ кг/см}^2}{2,1 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2}} = 0,542 < \bar{\lambda}_{uf} = 0,660.$$

Местная устойчивость сжатого пояса стойки обеспечивается.

Критические касательные напряжения местной потери устойчивости гофра по формуле (19):

$$\text{при } \beta = \frac{h_w}{b_w} = \frac{400 \text{ мм}}{112 \text{ мм}} = 3,57 \text{ по табл. 3 } C_{p,cr} = 5,94;$$

$$\tau_{p,cr} = \frac{1,12 \cdot 5,94 \cdot 1390 \text{ кг/см}^2}{1,26^2} = 5820 \text{ кг/см}^2.$$

Критические касательные напряжения общей потери устойчивости волнистой стенки по формуле (21):

$$\gamma = 0,91 \cdot \left(\frac{50 \text{ мм}}{3 \text{ мм}} \right)^2 = 253 < 4 \cdot (7 \cdot 3,57^2 - 5) = 336.$$

$$C_{o,cr} = 5,34 + (5,5 \cdot 3,57^2 - 0,6) \cdot \sqrt[3]{\frac{0,25 \cdot 253}{7 \cdot 3,57^2 - 5}} = 68,5;$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{40 \text{ см}}{0,3 \text{ см}} \sqrt{\frac{2400 \text{ кг/см}^2}{2,1 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2}} = 4,51;$$

$$\tau_{o,cr} = \frac{1,12 \cdot 68,5 \cdot 1390 \text{ кг/см}^2}{4,51^2} = 5240 \text{ кг/см}^2.$$

Проверка местной устойчивости панели гофра по формуле (18):

$$\tau_{xy} = \frac{10 \text{ т}}{0,9 \cdot 0,3 \text{ см} \cdot 40 \text{ см}} = 925 \text{ кг/см}^2 < 1390 \text{ кг/см}^2;$$

$$\frac{\tau_{xy}}{\tau_{p,cr}} = \frac{925 \text{ кг/см}^2}{5820 \text{ кг/см}^2} = 0,16 < 1,0.$$

Проверка общей устойчивости волнистой стенки по формуле (20):

$$\frac{\tau_{xy}}{\tau_{o,cr}} = \frac{925 \text{ кг/см}^2}{5240 \text{ кг/см}^2} = 0,177 < 1,0.$$

Устойчивость волнистой стенки обеспечивается.

СОРТАМЕНТ СВАРНЫХ ДВУТАВРОВЫХ ПРОФИЛЕЙ С ВОЛНИСТОЙ СТЕНКОЙ ТИПА «СИЛУР»

В приложении приводится сортамент сварных двутавровых профилей с волнистыми стенками, аналогичных по прочностным характеристикам стальным горячекатаным двутаврам с параллельными гранями полок по СТО АСЧМ 20-93 [11].

Для каждого профилеразмера прокатного двутавра разработано три варианта сварных двутавровых профилей с волнистыми стенками (рис. Б.1).

Вариант 1. Сварной двутавровый профиль с волнистой стенкой имеет общую высоту, равную общей высоте базового профиля с учетом допуска на высоту, а сечение сварного двутаврового профиля подобрано с учетом выполнения следующих условий:

$$W_{x, corr} \geq W_x; W_{y, corr} \geq W_y; i_{y, corr} \geq i_y; \lambda_w = \frac{h_w}{t_w} \leq 350,$$

где $W_{x, corr}$, $W_{y, corr}$ — моменты сопротивления сварного двутаврового сечения с волнистой стенкой относительно осей симметрии x и y ; W_x , W_y — моменты сопротивления базового прокатного профиля относительно осей симметрии x и y ; $i_{y, corr}$, i_y — радиусы инерции сварного двутаврового профиля с волнистой стенкой и базового прокатного профиля относительно оси y ; λ_w — гибкость волнистой стенки.

Такие сварные двутавровые профили с волнистой стенкой найдут применение в случае необходимости прямой замены прокатного профиля по СТО АСЧМ 20-93 [Там же] сварным с равными геометрическими параметрами.

Вариант 2. Сварной двутавровый профиль с волнистой стенкой имеет общую высоту на 10–30 % большую, чем общая высота базового прокатного профиля, при этом сечение сварного профиля подобрано с учетом выполнения следующих условий:

$$W_{x, corr} \geq W_x; W_{y, corr} \geq W_y; i_{y, corr} \geq i_y; \lambda_w = \frac{h_w}{t_w} \leq 350.$$

Такие сварные двутавровые профили с волнистой стенкой найдут применение в случае необходимости замены прокатного профиля по СТО АСЧМ 20-93 [11] сварным с равными геометрическими параметрами, но допустимо применение профиля увеличенной, по сравнению с базовым, высоты.

Вариант 3. Сварной двутавровый профиль с волнистой стенкой имеет высоту в 1,5–2,5 раза большую, чем общая высота базового прокатного профиля, при этом сечение сварного профиля подобрано с учетом выполнения следующих условий:

$$W_{x, \text{corr}} \geq W_x; i_{y, \text{corr}} \geq i_y; \lambda_w = \frac{h_w}{t_w} \leq 350.$$

Такие сварные двутавровые профили с волнистой стенкой найдут применение в случаях, когда нет ограничения высоты применяемого сечения и обеспечена общая устойчивость элемента из данного сварного профиля.

Геометрические размеры волнистой стенки для всех подобранных типоразмеров профилей приняты из условия обеспечения ее устойчивости и прочности на срез поперечной силой

$$Q = \frac{4 \cdot M_{\max}}{16,5 \cdot h},$$

где $M_{\max} = R_y \cdot W_x$ — наибольший изгибающий момент, который может воспринять сечение базового прокатного профиля; h — общая высота сечения базового прокатного профиля.

Для сварных двутавровых профилей с волнистой стенкой, аналогичных по прочностным характеристикам прокатным типа К по СТО АСЧМ 20-93 [Там же], принято, что 75 % несущей способности элемента используется для восприятия изгибающего момента, 25 % — для восприятия продольной силы, а геометрическая длина элемента больше или равна десятикратной величине высоты заменяемого прокатного профиля.

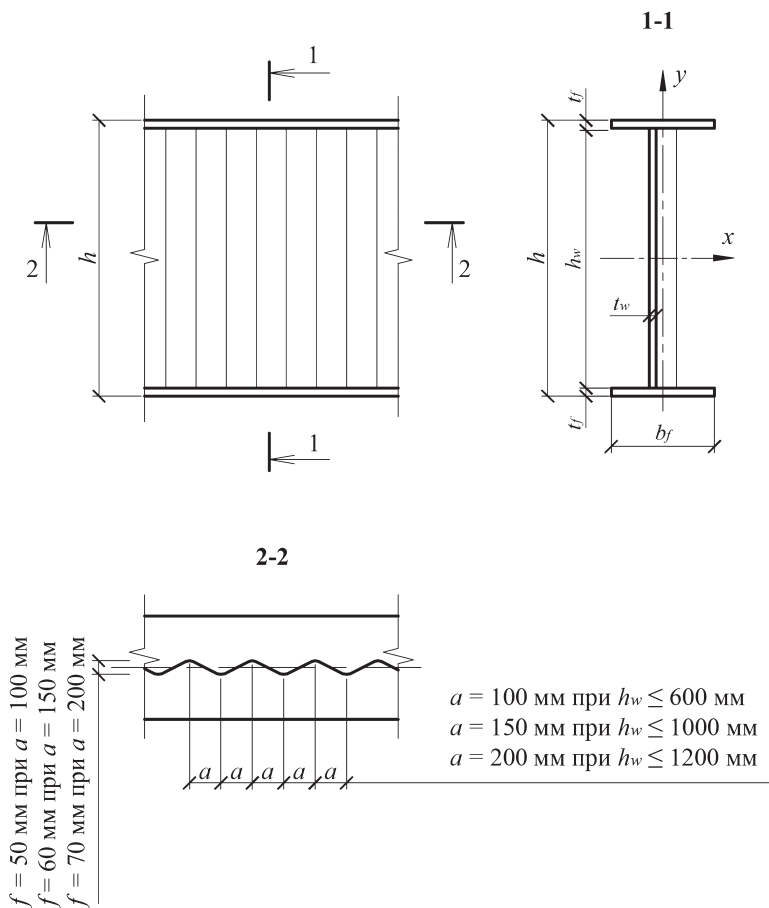


Рис. Б.1. Геометрические размеры профилей типа «Силур»
по ТУ 5283-010-85420077-2014 с гофрами треугольного очертания

Таблица Б.1

**Сортамент сварных двутавровых профилей типа «Силур» с волнистой стенкой
по ТУ 5283-010-85420077-2014, соответствующим по прочностным характеристикам прокатным
двутаврам с индексом Б по СТО АСЧМ 20-93**

Профиль		Размеры профиля, мм					Размеры гофров, мм		Масса 1 м, кг	Геометрические характеристики сечения							
		h	b _f	t _w	t _f	h _w	a	f		A, см ²	I _{x⁰} , см ⁴	W _{x⁰} , см ³	S _{x⁰} , см ³	i _{x⁰} , см	I _{y⁰} , см ⁴	W _{y⁰} , см ³	i _{y⁰} , см
20Б1	20BC	201	120	3	8	185	100	50	19,94	19,2	1788,0	185,3	92,6	9,7	230,4	38,4	3,46
	25BC	246	110	3	8	230	100	50	19,87	17,6	2492,3	209,4	104,7	11,9	177,5	32,3	3,18
	32BC	322	100	3	6	310	100	50	17,58	12,0	2995,7	189,6	94,8	15,8	100,0	20,0	2,89
25Б1	25BC	251	150	3	8	235	100	50	25,03	24,0	3542,9	291,6	145,8	12,2	450,0	60,0	4,33
	29BC	286	130	3	8	270	100	50	23,44	20,8	4018,8	289,1	144,6	13,9	292,9	45,1	3,75
	44BC	442	110	3	6	430	100	50	21,68	13,2	6273,2	287,8	143,9	21,8	133,1	24,2	3,18
25Б2	25BC	250	140	3	10	230	100	50	28,04	28,0	4032,0	336,0	168,0	12,0	457,3	65,3	4,04
	31BC	306	140	3	8	290	100	50	25,22	22,4	4973,0	333,8	166,9	14,9	365,9	52,3	4,04
	50BC	502	110	3	6	490	100	50	23,26	13,2	8118,5	327,4	163,7	24,8	133,1	24,2	3,18
30Б1	30BC	300	150	3	10	280	100	50	30,92	30,0	6307,5	435,0	217,5	14,5	562,5	75,0	4,33
	37BC	366	150	3	8	350	100	50	28,06	24,0	7689,8	429,6	214,8	17,9	450,0	60,0	4,33
	46BC	456	120	3	8	440	100	50	26,66	19,2	9633,8	430,1	215,0	22,4	230,4	38,4	3,46

Профиль	Размеры профиля, мм					Размеры гофров, мм		Масса 1 м, кг	Геометрические характеристики сечения							
	h	b_f	t_w	t_f	h_w	a	f		A , см ²	I_{x^2} , см ⁴	W_{x^2} , см ³	S_{x^2} , см ³	i_{x^2} , см	I_{y^2} , см ⁴	W_{y^2} , см ³	i_{y^2} , см
30Б2	300	170	3	10	280	100	50	34,06	34,0	7148,5	493,0	246,5	14,5	818,8	96,3	4,91
	390	386	160	3	370	100	50	29,84	25,6	9144,6	483,8	241,9	18,9	546,1	68,3	4,62
	520	516	120	3	500	100	50	28,24	19,2	12 387,1	487,7	243,8	25,4	230,4	38,4	3,46
35Б1	350	345	200	3	325	100	50	39,96	40,0	11 222,5	670,0	335,0	16,8	1333,3	133,3	5,77
	390	390	170	3	370	100	50	36,43	34,0	12 274,0	646,0	323,0	19,0	818,8	96,3	4,91
	500	586	140	3	570	100	50	32,59	22,4	18 708,7	647,4	323,7	28,9	365,9	52,3	4,04
35Б2	350	344	200	4	320	100	50	48,91	48,0	13 226,9	796,8	398,4	16,6	1600,0	160,0	5,77
	420	420	190	3	400	100	50	40,36	38,0	15 969,5	779,0	389,5	20,5	1143,2	120,3	5,48
	620	616	160	3	600	100	50	35,89	25,6	23 658,5	778,2	389,1	30,4	546,1	68,3	4,62
40Б1	400	394	230	4	370	100	50	56,32	55,2	20 137,5	1054,3	527,2	19,1	2433,4	211,6	6,64
	500	500	210	3	480	100	50	45,61	42,0	25 210,5	1029,0	514,5	24,5	1543,5	147,0	6,06
	650	650	160	3	630	150	60	41,10	32,0	32 768,0	1024,0	512,0	32,0	682,7	85,3	4,62
40Б2	400	399	260	4	375	100	50	62,15	62,4	23 364,0	1207,4	603,7	19,4	3515,2	270,4	7,51
	480	484	210	3	460	100	50	51,68	50,4	28 070,8	1189,4	594,7	23,6	1852,2	176,4	6,06
	760	760	160	3	740	150	60	43,89	32,0	45 000,0	1200,0	600,0	37,5	682,7	85,3	4,62

Продолжение табл. Б.1

Профиль	Размеры профиля, мм					Размеры гофров, мм		Масса 1 м, кг	Геометрические характеристики сечения							
	h	b _f	t _w	t _f	h _w	a	f		A, см²	I _{x²} см⁴	W _{x²} см³	S _{x²} см³	i _{x²} см	I _{y²} см⁴	W _{y²} см³	i _{y²} см
45Б1	444	250	4	12	420	100	50	61,84	60,0	27 993,6	1296,0	648,0	21,6	3125,0	250,0	7,22
	554	200	3	12	530	100	50	51,63	48,0	35 251,7	1300,8	650,4	27,1	1600,0	160,0	5,77
	870	150	3	10	850	150	60	45,11	30,0	55 470,0	1290,0	645,0	43,0	562,5	75,0	4,33
45Б2	448	250	4	14	420	100	50	69,69	70,0	32 962,3	1519,0	759,5	21,7	3645,8	291,7	7,22
	584	220	3	12	560	100	50	56,19	52,8	43 188,3	1510,1	755,0	28,6	2129,6	193,6	6,35
	940	160	3	10	920	150	60	48,45	32,0	69 192,0	1488,0	744,0	46,5	682,7	85,3	4,62
50Б1	494	260	4	12	470	100	50	65,48	62,4	36 242,5	1503,8	751,9	24,1	3515,2	270,4	7,51
	578	190	3	14	550	100	50	56,24	53,2	42 306,8	1500,2	750,1	28,2	1600,4	168,5	5,48
	1020	150	3	10	1000	150	60	48,91	30,0	76 507,5	1515,0	757,5	50,5	562,5	75,0	4,33
50Б2	498	250	4	14	470	100	50	71,45	70,0	40 994,8	1694,0	847,0	24,2	3645,8	291,7	7,22
	624	230	3	12	600	100	50	59,13	55,2	51 687,1	1689,1	844,6	30,6	2433,4	211,6	6,64
	1020	170	3	10	1000	150	60	52,05	34,0	86 708,5	1717,0	858,5	50,5	818,8	96,3	4,91
50Б3	498	290	4	14	470	100	50	80,24	81,2	47 554,0	1965,0	982,5	24,2	5690,8	392,5	8,37
	624	270	3	12	600	100	50	66,67	64,8	60 676,1	1982,9	991,4	30,6	3936,6	291,6	7,79
	1024	160	3	12	1000	150	60	55,51	38,4	98 317,8	1943,0	971,5	50,6	819,2	102,4	4,62

Профиль	Размеры профиля, мм					Размеры гофров, мм		Масса 1 м, кг	Геометрические характеристики сечения							
	h	b_f	t_w	t_f	h_w	a	f		A , см^2	I_{x^2} , см^4	W_{x^2} , см^3	S_{x^2} , см^3	i_{x^2} , см	I_{y^2} , см^4	W_{y^2} , см^3	i_{y^2} , см
55Б1	54BC	538	280	4	14	510	50	79,45	78,4	53 816,9	2054,1	1027,0	26,2	5122,1	365,9	8,08
	71BC	714	250	3	12	690	60	64,60	60,0	73 920,6	2106,0	1053,0	35,1	3125,0	250,0	7,22
	102BC	1024	170	3	12	1000	60	57,39	40,8	10 4462,7	2064,5	1032,2	50,6	982,6	115,6	4,91
55Б2	55BC	548	310	4	14	520	50	86,39	86,8	61 878,9	2317,6	1158,8	26,7	6951,2	448,5	8,95
	72BC	718	240	3	14	690	60	70,25	67,2	83 263,5	2365,4	1182,7	35,2	3225,6	268,8	6,93
	102BC	1024	190	3	12	1000	60	61,16	45,6	116 752,4	2307,4	1153,7	50,6	1371,8	144,4	5,48
60Б1	60BC	598	290	4	14	570	50	83,75	81,2	69 234,4	2371,0	1185,5	29,2	5690,8	392,5	8,37
	77BC	768	220	3	14	740	60	67,13	61,6	87 551,5	2322,3	1161,2	37,7	2484,5	225,9	6,35
	102BC	1024	190	3	12	1000	60	61,16	45,6	116 752,4	2307,4	1153,7	50,6	1371,8	144,4	5,48
60Б2	60BC	602	280	4	16	570	50	90,35	89,6	76 920,7	2625,3	1312,6	29,3	5853,9	418,1	8,08
	77BC	768	250	3	14	740	60	73,72	70,0	99 490,3	2639,0	1319,5	37,7	3645,8	291,7	7,22
	103BC	1028	190	3	14	1000	60	67,13	53,2	136 750,1	2697,2	1348,6	50,7	1600,4	168,5	5,48

Окончание табл. Б.1

Профиль	Размеры профиля, мм					Размеры гофров, мм		Масса 1 м, кг	Геометрические характеристики сечения								
	h	b _f	t _w	t _f	h _w	a	f		A, см ²	I _{x²} , см ⁴	W _{x²} , см ³	S _{x²} , см ³	i _{x²} , см	I _{y²} , см ⁴	W _{y²} , см ³	i _{y²} , см	
70Б1	70BC	692	340	4	16	660	150	60	107,73	108,8	124 297,5	3677,4	1838,7	33,8	10481,1	616,5	9,81
	91BC	908	300	3	14	880	150	60	88,26	84,0	167 839,6	3754,8	1877,4	44,7	6300,0	420,0	8,66
	103BC	1028	260	3	14	1000	150	60	82,51	72,8	187 131,7	3691,0	1845,5	50,7	4101,1	315,5	7,51
70Б2	70BC	696	350	5	18	660	150	60	126,81	126,0	144 800,5	4271,4	2135,7	33,9	12862,5	735,0	10,10
	91BC	912	300	4	16	880	150	60	105,12	96,0	192 675,8	4300,8	2150,4	44,8	7200,0	480,0	8,66
	103BC	1028	300	3	14	1000	150	60	91,30	84,0	215 921,2	4258,8	2129,4	50,7	6300,0	420,0	8,66

**Сортамент сварных двутавровых профилей типа «Силур» с волнистой стенкой
по ТУ 5283-010-85420077-2014, соответствующих по прочностным характеристикам прокатным
двутаврам с индексом Ш по СТО АСЧМ 20-93**

Профиль		Размеры профиля, мм					Размеры гофров, мм		Масса l м, кг	Геометрические характеристики сечения						
		h	b _f	t _w	t _f	h _w	a	f		A _x см ²	I _{x₀} см ⁴	W _{x₀} см ³	S _{x₀} см ³	i _{x₀} см	I _{y₀} см ⁴	W _{y₀} см ³
20Ш1	20BC	190	160	4	10	170	100	50	31,09	2592,0	288,0	144,0	9,0	682,7	85,3	4,62
	25BC	246	160	3	8	230	100	50	26,15	3625,2	304,6	152,3	11,9	546,1	68,3	4,62
	28BC	276	130	3	8	260	100	50	23,17	3734,8	278,7	139,4	13,4	292,9	45,1	3,75
25Ш1	25BC	240	220	5	10	220	100	50	44,19	5819,0	506,0	253,0	11,5	1774,7	161,3	6,35
	28BC	280	190	4	10	260	100	50	38,96	6925,5	513,0	256,5	13,5	1143,2	120,3	5,48
	47BC	466	150	3	8	450	100	50	30,69	12 585,8	549,6	274,8	22,9	450,0	60,0	4,33
30Ш1	30BC	294	230	5	12	270	100	50	55,18	10 974,3	778,3	389,2	14,1	2433,4	211,6	6,64
	37BC	370	220	4	10	350	100	50	46,83	14 256,0	792,0	396,0	18,0	1774,7	161,3	6,35
	47BC	470	170	3	10	450	100	50	38,54	17 986,0	782,0	391,0	23,0	818,8	96,3	4,91

Продолжение табл. Б.2

Профиль		Размеры профиля, мм					Размеры гофров, мм		Масса 1 м, кг	Геометрические характеристики сечения							
		h	b_f	t_w	t_f	h_w	a	f		A , см ²	I_{x^2} , см ⁴	W_{x^2} , см ³	S_{x^2} , см ³	i_{x^2} , см	I_{y^2} , см ⁴	W_{y^2} , см ³	i_{y^2} , см
30Ш2	30BC	298	250	6	14	270	100	50	69,17	14 114,8	994,0	497,0	14,2	3645,8	291,7	7,22	
	37BC	374	230	5	12	350	100	50	58,69	18 084,1	999,1	499,6	18,1	2433,4	211,6	6,64	
	57BC	570	180	3	10	550	100	50	42,74	28 224,0	1008,0	504,0	28,0	972,0	108,0	5,20	
35Ш1	35BC	334	270	5	12	310	100	50	64,47	16 796,8	1043,3	521,6	16,1	3936,6	291,6	7,79	
	38BC	384	240	4	12	360	100	50	57,85	19 927,3	1071,4	535,7	18,6	2764,8	230,4	6,93	
	50BC	500	210	3	10	480	100	50	45,61	25 210,5	1029,0	514,5	24,5	1543,5	147,0	6,06	
35Ш2	35BC	338	290	6	14	310	100	50	80,07	81,2	21 310,1	1315,4	657,7	16,2	5690,8	392,5	8,37
	38BC	378	260	5	14	350	100	50	72,51	72,8	24 114,3	1325,0	662,5	18,2	4101,1	315,5	7,51
	62BC	620	210	3	10	600	100	50	48,77	42,0	39 070,5	1281,0	640,5	30,5	1543,5	147,0	6,06
40Ш1	40BC	378	320	6	14	350	100	50	88,77	89,6	29 679,1	1630,7	815,4	18,2	7645,9	477,9	9,24
	43BC	428	290	5	14	400	100	50	81,30	81,2	34 793,4	1680,8	840,4	20,7	5690,8	392,5	8,37
	60BC	604	250	4	12	580	100	50	67,46	60,0	52 569,6	1776,0	888,0	29,6	3125,0	250,0	7,22

Профиль	Размеры профиля, мм					Размеры гофров, мм		Масса 1 м, кг	Геометрические характеристики сечения								
	h	b _f	t _w	t _f	h _w	a	f		A, см ²	I _{x₀} см ⁴	W _{x₀} см ³	S _{x₀} см ³	i _{x₀} см	I _{y₀} см ⁴	W _{y₀} см ³	i _{y₀} см	
40ПП2	40BC	392	330	8	16	360	100	50	108,17	37 323,3	1985,3	992,6	18,8	9583,2	580,8	9,53	
	43BC	432	310	6	16	400	100	50	98,94	42 917,9	2063,4	1031,7	20,8	7944,3	512,5	8,95	
	63BC	634	270	4	12	610	100	50	72,28	62 675,2	2015,3	1007,6	31,1	3936,6	291,6	7,79	
45ПП1	45BC	436	340	8	18	400	100	50	124,17	53 465,5	2558,2	1279,1	20,9	11 791,2	693,6	9,81	
	58BC	582	320	5	16	550	100	50	104,52	82 011,1	2897,9	1449,0	28,3	8738,1	546,1	9,24	
	87BC	874	250	4	12	850	200	70	75,38	60,0	111 456,6	2586,0	1293,0	43,1	3 125,0	250,0	7,22
50ПП1	50BC	482	340	6	16	450	100	50	109,10	108,8	59 066,4	2535,0	1267,5	23,3	10 481,1	616,5	9,81
	58BC	578	320	5	14	550	100	50	94,47	89,6	71 253,5	2526,7	1263,4	28,2	7645,9	477,9	9,24
	92BC	924	240	4	12	900	200	70	75,16	57,6	119 771,1	2626,6	1313,3	45,6	2764,8	230,4	6,93
50ПП2	50BC	486	360	8	18	450	100	50	133,33	129,6	70 963,8	3032,6	1516,3	23,4	13 996,8	777,6	10,39
	63BC	632	320	5	16	600	100	50	106,71	102,4	97 140,7	3153,9	1577,0	30,8	8738,1	546,1	9,24
	102BC	1024	250	4	12	1000	200	70	80,37	60,0	153 621,6	3036,0	1518,0	50,6	3 125,0	250,0	7,22

Продолжение табл. Б.2

Профиль	Размеры профиля, мм					Размеры гофров, мм		Масса 1 м, кг	Геометрические характеристики сечения							
	h	b_f	t_w	t_f	h_w	a	f		A , см ²	I_{x^0} , см ⁴	W_{x^0} , см ³	S_{x^0} , см ³	i_{x^0} , см	I_{y^0} , см ⁴	W_{y^0} , см ³	i_{y^0} , см
50ПЗ	50BC	496	400	8	18	460	100	50	145,34	82 254,2	3441,6	1720,8	23,9	19 200,0	960,0	11,55
	63BC	632	350	6	16	600	100	50	119,52	106 247,7	3449,6	1724,8	30,8	11 433,3	653,3	10,10
	122BC	1224	240	4	12	1200	200	70	85,14	211 527,9	3490,6	1745,3	60,6	2764,8	230,4	6,93
50П4	50BC	500	400	8	20	460	100	50	157,90	92 160,0	3840,0	1920,0	24,0	21 333,3	1066,7	11,55
	64BC	636	350	6	18	600	100	50	130,51	120 306,1	3893,4	1946,7	30,9	12 862,5	735,0	10,10
	123BC	1228	240	4	14	1200	200	70	92,67	247 597,7	4079,0	2039,5	60,7	3225,6	268,8	6,93
60П1	60BC	586	350	6	18	550	100	50	127,87	101 626,6	3578,4	1789,2	28,4	12 862,5	735,0	10,10
	74BC	742	310	4	16	710	200	70	101,49	130 714,8	3601,0	1800,5	36,3	7944,3	512,5	8,95
	113BC	1128	230	4	14	1100	200	70	87,15	199 800,4	3587,1	1793,5	55,7	2839,0	246,9	6,64
60П2	60BC	590	380	8	20	550	100	50	157,94	123 462,0	4332,0	2166,0	28,5	18 290,7	962,7	10,97
	78BC	782	350	5	16	750	200	70	119,11	164 291,7	4289,6	2144,8	38,3	11 433,3	653,3	10,10
	123BC	1228	260	4	14	1200	200	70	97,07	268 230,9	4419,0	2209,5	60,7	4101,1	315,5	7,51

Профиль	Размеры профиля, мм					Размеры гофров, мм		Масса 1 м, кг	Геометрические характеристики сечения								
	h	b _f	t _w	t _f	h _w	a	f		A _s , см ²	I _{x_{sp}} , см ⁴	W _{x_{sp}} , см ³	S _{x_{sp}} , см ³	i _{x_{sp}} , см	I _{y_{sp}} , см ⁴	W _{y_{sp}} , см ³	i _{y_{sp}} , см	
60ПЗ	60BC	590	450	8	20	550	100	50	179,92	180,0	146 205,0	5130,0	2565,0	28,5	30 375,0	1350,0	12,99
	79BC	786	370	6	18	750	200	70	141,99	133,2	196 411,4	5114,9	2557,4	38,4	15 195,9	821,4	10,68
	123BC	1228	300	4	14	1200	200	70	105,86	84,0	309 497,2	5098,8	2549,4	60,7	6300,0	420,0	8,66
60П4	60BC	604	460	8	22	560	100	50	198,20	202,4	171 394,3	5889,8	2944,9	29,1	35 689,9	1551,7	13,28
	79BC	790	380	6	20	750	200	70	156,75	152,0	225 302,0	5852,0	2926,0	38,5	18 290,7	962,7	10,97
	123BC	1232	300	4	16	1200	200	70	115,28	96,0	354 877,4	5836,8	2918,4	60,8	7200,0	480,0	8,66
70П1	70BC	690	380	6	20	650	200	70	151,76	152,0	170 582,0	5092,0	2546,0	33,5	18 290,7	962,7	10,97
	88BC	882	360	4	16	850	200	70	118,71	115,2	215 987,3	4988,2	2494,1	43,3	12 441,6	691,2	10,39
	123BC	1228	300	4	14	1200	200	70	105,86	84,0	309 497,2	5098,8	2549,4	60,7	6300,0	420,0	8,66
70П2	70BC	690	430	6	20	650	200	70	167,46	172,0	193 027,0	5762,0	2881,0	33,5	26 502,3	1232,7	12,41
	89BC	886	370	5	18	850	200	70	139,91	133,2	250 890,2	5780,9	2890,4	43,4	15 195,9	821,4	10,68
	123BC	1232	300	4	16	1200	200	70	115,28	96,0	354 877,4	5836,8	2918,4	60,8	7200,0	480,0	8,66

Окончание табл. Б.2

Профиль		Размеры профиля, мм					Размеры гофров, мм		Масса 1 м, кг	Геометрические характеристики сечения						
		h	b_f	t_w	t_f	h_w	a	f		A , см ²	I_{x^0} , см ⁴	W_{x^0} , см ³	S_{x^0} , см ³	i_{x^0} , см	I_{y^0} , см ⁴	W_{y^0} , см ³
70ПЗ	70BC	694	460	8	22	650	200	70	202,13	228 501,5	6800,6	3400,3	33,6	35 689,9	1551,7	13,28
	89BC	890	390	6	20	850	200	70	164,88	156,0	295 191,0	6786,0	43,5	19 773,0	1014,0	11,26
	123BC	1232	350	4	16	1200	200	70	127,84	112,0	414 023,7	6809,6	60,8	11 433,3	653,3	10,10
70П4	70BC	714	510	8	22	670	200	70	220,73	224,4	268 642,7	7764,2	38,2	48 638,7	1907,4	14,72
	89BC	890	450	6	20	850	200	70	183,72	180,0	340 605,0	7830,0	43,5	30 375,0	1350,0	12,99
	124BC	1236	360	5	18	1200	200	70	151,64	129,6	480 661,8	7892,6	60,9	13 996,8	777,6	10,39
70П5	70BC	720	510	10	25	670	200	70	255,90	255,0	307 928,4	8861,3	44,3	55 271,3	2167,5	14,72
	89BC	894	460	8	22	850	200	70	215,44	202,4	384 754,3	8824,6	43,6	35 689,9	1551,7	13,28
	124BC	1236	410	5	18	1200	200	70	165,77	147,6	547 420,4	8988,8	60,9	20 676,3	1008,6	11,84

**Сортамент сварных двутавровых профилей типа «Силур» с волнистой стенкой
по ТУ 5283-010-85420077-2014, соответствующих по прочностным характеристикам
прокатным двутаврам с индексом К по СТО АСЧМ 20-93**

Профиль	Размеры профиля, мм				Размеры гофров, мм	Масса l м, кг	Геометрические характеристики сечения										
	h	b _f	t _w	t _f			h _w	a	f	A, см²	I _x , см⁴	W _x , см³	S _x , см³	i _x , см	I _y , см⁴	W _y , см³	i _y , см
20K1	20BC	195	220	4	10	175	100	50	40,68	44,0	3764,8	407,0	203,5	9,3	1774,7	161,3	6,35
	21BC	210	200	4	10	190	100	50	38,07	40,0	4000,0	400,0	200,0	10,0	1333,3	133,3	5,77
	26BC	260	180	3	10	240	100	50	34,58	36,0	5625,0	450,0	225,0	12,5	972,0	108,0	5,20
	20K2	20BC	204	210	5	12	180	100	50	47,46	50,4	4644,9	483,8	241,9	9,6	1852,2	176,4
	23BC	230	220	4	10	210	100	50	41,91	44,0	5324,0	484,0	242,0	11,0	1774,7	161,3	6,35
	30BC	300	180	3	10	280	100	50	35,63	36,0	7569,0	522,0	261,0	14,5	972,0	108,0	5,20
	25BC	248	235	5	14	220	100	50	61,31	65,8	9007,4	769,9	384,9	11,7	3028,2	257,7	6,78
	29BC	294	250	4	12	270	100	50	56,58	60,0	11 928,6	846,0	423,0	14,1	3125,0	250,0	7,22
25K2	38BC	380	220	3	10	360	100	50	44,02	44,0	15 059,0	814,0	407,0	18,5	1774,7	161,3	6,35
	25BC	252	235	6	16	220	100	50	70,62	75,2	10 470,8	887,4	443,7	11,8	3460,8	294,5	6,78
	27BC	274	275	5	12	250	100	50	62,78	66,0	11 326,3	864,6	432,3	13,1	4159,4	302,5	7,94
	34BC	344	220	4	12	320	100	50	52,68	52,8	14 549,6	876,5	438,2	16,6	2129,6	193,6	6,35

Профиль	Размеры профиля, мм					Размеры гофров, мм		Масса 1 м, кг	Геометрические характеристики сечения								
	h	b _f	t _w	t _f	h _w	a	f		A, см ²	I _{x⁰} см ⁴	W _{x⁰} см ³	S _{x⁰} см ³	i _{x⁰} см	I _{y⁰} см ⁴	W _{y⁰} см ³	i _{y⁰} см	
25К3	25BC	252	260	6	16	220	100	50	76,90	83,2	11 584,8	981,8	490,9	11,8	4686,9	360,5	7,51
	30BC	298	270	5	14	270	100	50	71,19	75,6	15 244,0	1073,5	536,8	14,2	4592,7	340,2	7,79
	37BC	368	220	4	14	340	100	50	60,29	61,6	19 298,7	1090,3	545,2	17,7	2484,5	225,9	6,35
30К1	30BC	297	285	6	16	265	100	50	85,55	91,2	18 003,1	1281,4	640,7	14,1	6173,1	433,2	8,23
	33BC	328	300	5	14	300	100	50	79,10	84,0	20 705,2	1318,8	659,4	15,7	6300,0	420,0	8,66
	40BC	398	260	4	14	370	100	50	70,14	72,8	26 837,0	1397,8	698,9	19,2	4101,1	315,5	7,51
30К2	30BC	302	300	6	16	270	100	50	89,58	96,0	19 631,0	1372,8	686,4	14,3	7200,0	480,0	8,66
	35BC	348	315	5	14	320	100	50	83,28	88,2	24 598,1	1472,9	736,5	16,7	7293,0	463,1	9,09
	45BC	454	260	4	12	430	100	50	64,08	62,4	30 476,8	1379,0	689,5	22,1	3515,2	270,4	7,51
30К3	30BC	302	320	7	16	270	100	50	96,97	102,4	20 939,8	1464,3	732,2	14,3	8738,1	546,1	9,24
	37BC	368	320	5	14	340	100	50	85,26	89,6	28 070,8	1585,9	793,0	17,7	7645,9	477,9	9,24
	47BC	474	260	4	12	450	100	50	64,78	62,4	33 297,3	1441,4	720,7	23,1	3515,2	270,4	7,51
30К4	30BC	302	340	7	16	270	100	50	102,00	108,8	22 248,5	1555,8	777,9	14,3	10 481,1	616,5	9,81
	39BC	392	320	5	16	360	100	50	96,18	102,4	36 192,3	1925,1	962,6	18,8	8738,1	546,1	9,24
	47BC	474	280	4	12	450	100	50	68,55	67,2	35 858,6	1552,3	776,2	23,1	4390,4	313,6	8,08

Профиль	Размеры профиля, мм					Размеры гофров, мм		Масса 1 м, кг	Геометрические характеристики сечения							
	h	b_f	t_w	t_f	h_w	a	f		A , см ²	I_{x^2} , см ⁴	W_{x^2} , см ³	S_{x^2} , см ³	i_{x^2} , см	I_{y^2} , см ⁴	W_{y^2} , см ³	i_{y^2} , см
35K1	35BC	342	355	6	16	310	100	50	105,50	30 182,4	1851,7	925,8	16,3	11 930,4	672,1	10,25
	41BC	412	340	5	16	380	100	50	102,08	42 654,0	2154,2	1077,1	19,8	10 481,1	616,5	9,81
	50BC	498	310	4	14	470	100	50	84,64	50 833,6	2100,6	1050,3	24,2	6951,2	448,5	8,95
35K2	35BC	346	390	8	18	310	100	50	131,98	37 762,0	2302,6	1151,3	16,4	17 795,7	912,6	11,26
	43BC	426	360	6	18	390	100	50	122,27	53 934,3	2643,8	1321,9	20,4	13 996,8	777,6	10,39
	55BC	548	310	5	14	520	100	50	90,96	61 878,9	2317,6	1158,8	26,7	6951,2	448,5	8,95
40K1	40BC	390	390	8	20	350	100	50	147,03	53 391,0	2886,0	1443,0	18,5	19 773,0	1014,0	11,26
	46BC	456	400	6	18	420	100	50	135,16	69 063,8	3153,6	1576,8	21,9	19 200,0	960,0	11,55
	54BC	542	350	5	16	510	100	50	110,30	77 469,3	2945,6	1472,8	26,3	11 433,3	653,3	10,10
40K2	40BC	400	440	8	20	360	100	50	163,44	63 536,0	3344,0	1672,0	19,0	28 394,7	1290,7	12,70
	52BC	520	410	6	20	480	100	50	154,02	102 500,0	4100,0	2050,0	25,0	22 973,7	1120,7	11,84
40K3	61BC	612	360	5	16	580	100	50	115,88	102 302,2	3433,0	1716,5	29,8	12 441,6	691,2	10,39
	40BC	404	460	10	22	360	100	50	190,48	73 837,5	3865,8	1932,9	19,1	35 689,9	1551,7	13,28
	52BC	520	450	7	20	480	100	50	170,79	112 500,0	4500,0	2250,0	25,0	30 375,0	1350,0	12,99
62BC	616	360	6	18	580	100	50	50	132,28	115 863,7	3875,0	1937,5	29,9	13 996,8	777,6	10,39

Окончание табл. Б.3

Профиль		Размеры профиля, мм					Размеры гофров, мм		Масса l м, кг	Геометрические характеристики сечения							
		h	b _f	t _w	t _f	h _w	a	f		A, см ²	I _{x⁰} см ⁴	W _{x⁰} см ³	S _{x⁰} см ³	i _{x⁰} см	I _{y⁰} см ⁴	W _{y⁰} см ³	i _{y⁰} см
40К4	40BC	414	520	10	22	370	100	50	212,08	87 895,8	4484,5	2242,2	19,6	51 556,3	1982,9	15,01	
	52BC	524	460	8	22	480	100	50	192,59	202,4	127 514,0	5080,2	2540,1	25,1	35 689,9	1551,7	13,28
	64BC	636	410	7	18	600	100	50	152,73	147,6	140 930,0	4560,8	2280,4	30,9	20 676,3	1008,6	11,84
40К5	40BC	430	560	12	25	380	100	50	259,82	280,0	114 817,5	5670,0	2835,0	20,3	73 173,3	2613,3	16,17
	52BC	524	510	10	22	480	100	50	218,28	224,4	141 374,2	5632,4	2816,2	25,1	48 638,7	1907,4	14,72
	64BC	640	460	8	20	600	100	50	186,57	184,0	176 824,0	5704,0	2852,0	31,0	32 445,3	1410,7	13,28

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: Федеральный закон РФ от 30.12.2009 № 384-ФЗ // Российская газета. 2009. № 225.
2. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81* / Минрегион России. М. : ОАО «ЦПП», 2011. 171 с.
3. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* / Минрегион России. М. : ОАО «ЦПП», 2011. 95 с.
4. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная версия СНиП 23-01-99* / Минрегион России. М. : ОАО «ЦПП», 2012. 108 с.
5. ТУ 5261-002-02494785-2011. Двутавровые балки с поперечно-гофрированными стенками. Екатеринбург : ООО «Мечел-Сервис», 2011. 35 с.
6. ТУ 5283-010-85420077-2014. Сварные двутавровые профили с волнистыми стенками / С. В. Кудрявцев. Екатеринбург : ООО «Силур», 2014. 39 с.
7. СНиП РК 5.04-23-2002. Стальные конструкции. Нормы проектирования. Астана, 2003. 118 с.
8. СН РК 5.04-08-2004. Пособие по проектированию стальных конструкций. Астана, 2005. 144 с.
9. Концентрация напряжений вблизи круговых отверстий в гофрированных стенках балок : моногр. / С. В. Кудрявцев. Екатеринбург : Изд-во АМБ, 2010. 156 с.
10. Zeman & Co Gesellschaft mbH. Балки с гофрированной стенкой. Техническая документация, 1993. 13 р.
11. СТО АСЧМ 20-93. Прокат стальной сортовой фасонного профиля. Двутавры горячекатаные с параллельными гранями полок. Технические условия / Ассоциация Черметстандарт, 2008. 10 с.

Учебное издание

Кудрявцев Сергей Владимирович

**РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ
СВАРНЫХ ДВУТАВРОВЫХ ПРОФИЛЕЙ
С ВОЛНИСТЫМИ СТЕНКАМИ**

Учебно-методическое пособие

Заведующий редакцией
Редактор
Корректор
Оригинал-макет

*М. А. Овечкина
Т. А. Федорова
Т. А. Федорова
Л. А. Хухаревой*

План выпуска 2017 г. Подписано в печать 24.04.17
Формат $60 \times 84^{1/16}$. Бумага офсетная. Гарнитура Times.
Уч.-изд. л. 2,8. Усл. печ. л. 3,5. Тираж 50 экз. Заказ 86.
Издательство Уральского университета
620000, Екатеринбург, пр. Ленина, 51.
Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре УрФУ
620000, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4.
Тел.: + (343) 350-56-64, 350-90-13
Факс +7 (343) 358-93-06
E-mail: press-urfu@mail.ru



КУДРЯВЦЕВ СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленное, гражданское строительство и экспертиза недвижимости» Уральского федерального университета. Окончил строительный факультет Уральского государственного технического университета (2005). Сфера научных интересов – обследование строительных конструкций, высокопрочные композитные материалы в строительстве, легкие металлические конструкции.